

# STAHL UND EISEN

## ZEITSCHRIFT FÜR DAS DEUTSCHE EISENHÜTTENWESEN

Herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute

Geleitet von Dr.-Ing. Dr. mont. E. h. O. Petersen

unter Mitarbeit von Dr. J. W. Reichert und Dr. W. Steinberg für den wirtschaftlichen Teil

HEFT 7

16. FEBRUAR 1939

59. JAHRGANG

### Die Entwicklung von Walzwerksantrieben in baulicher und wirtschaftlicher Hinsicht.

Von Ludolf Engel in Duisburg.

[Bericht Nr. 77 des Maschinenausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute\*].

*(Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Antriebes einer Umkehrwalzenstraße. Anlagekosten. Wirtschaftlichkeit der Erzeugung. Anforderungen an den Antrieb einer Umkehrwalzenstraße. Aenderung der bisher üblichen Bauart der Dampfwalzenzugmaschine. Steuerungstechnische Vorteile der Mehrkurbeldampfmaschine. Vergleich der älteren mit der neuen Bauart. Oelhydraulische Ventilsteuerung und Drehzahlregelung. Einzelheiten der neuen Bauart. Dampfverbrauch der älteren und neueren Dampfwalzenzugmaschinen und Vergleich mit dem Stromverbrauch elektrischer Umkehrantriebe. Ausnutzung des Wärmegefälles durch Abdampfturbinen. Anpassungsfähigkeit neuzeitlicher Dampfkessel.)*

Durch die Entwicklung der Hochdruckdampftechnik hat die Kolbendampfmaschine in den letzten Jahren eine vermehrte Beachtung gefunden; sie zeigt sich in zahlreichen neuartigen Ausführungen, an denen fast alle auf diesem Gebiete maßgebenden Firmen beteiligt sind. Das Schrifttum gibt bereits einen guten Ueberblick über die erreichten Erfolge und zeigt, daß diese Entwicklung auf fast allen Anwendungsgebieten eingesetzt hat<sup>1)</sup>. Es ist daher erklärlich, daß auch im Walzwerksbetrieb die Verwendung der Dampfmaschine als Antriebsmaschine wieder mehr beachtet wird. Im letzten Jahrzehnt sind die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten, die in der Anwendung höherer Dampfdrücke, Temperaturen und Drehzahlen liegen, gerade im besonderen Maße bei den Dampfmaschinen zum Antrieb von Walzenstraßen unberücksichtigt geblieben. Die Dampfmaschine mußte deshalb als Antriebsmaschine für Walzwerke zugunsten des elektrischen Antriebes, der außerdem noch in diesen Jahren eine besondere Förderung durch die Entwicklung der Großkraftwerke erhielt, zurücktreten. Sie bietet jedoch in neuzeitlicher Bauart, vor allem als Antriebsmaschine für Umkehrwalzwerke, eine Reihe von Vorteilen, und wird daher in vielen Fällen wieder erfolgreich mit dem elektrischen Antrieb in Wettbewerb treten können.

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Antriebes einer Umkehrwalzenstraße ist nur im Rahmen der Gesamtanlage und Energiewirtschaft eines Hüttenwerkes möglich. Es ergibt sich bei näherer Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eine Reihe von Punkten, die sich einer allgemeingültigen Behandlung und Beurteilung entziehen und die von Fall zu Fall bewertet werden müssen. Sie sind oft schon im voraus entscheidend für die Festlegung der einen oder anderen Antriebsart. So kann billiger Fremdstrom oder Strom eigener Erzeugung in ausreichen-

dem Maße zur Verfügung stehen, oder alle Anlagen eines Hüttenwerkes sollen von einer Zentrale aus gemeinsam gespeist werden. Oder der Betrieb eines Werkes ist vollkommen auf Dampf eingestellt und bevorzugt deshalb die Anlage einer Dampfmaschine.

Scheidet man diese Ueberlegungen aus, so bleiben im wesentlichen drei Punkte, die einer allgemeinen Behandlung zugänglich sind und hauptsächlich die Wirtschaftlichkeit des Antriebes eines Umkehrwalzwerkes bestimmen. Das sind seine Anlagekosten, seine Wirtschaftlichkeit für bestmögliches Ausbringen der Erzeugung und seine Wirtschaftlichkeit für den Energieverbrauch.

Die Anlagekosten liegen in den meisten Fällen eindeutig zugunsten des Dampfmaschinenantriebes. So kostet die vollständige elektrische Ausrüstung eines Umkehrwalzwerkes mit Umkehrwalzmotor für 300 mt Höchstdrehmoment, Ilgneranlage und den zugehörigen Hilfseinrichtungen ungefähr 800 000 bis 900 000  $\mathcal{R.M}^2$ ). In diesem Preise sind Kessel und Kraftanlage nicht enthalten. Demgegenüber stellt sich der Preis für eine neuzeitliche Hochdruck-Umkehrdampfmaschine gleicher Leistung mit allem Zubehör und Fundamenten, aber ebenfalls ohne Kessel, auf ungefähr 350 000 bis 400 000  $\mathcal{R.M}$ , also etwas weniger als die Hälfte einer elektrischen Ausrüstung bei Fremdstrombezug.

Für die Wirtschaftlichkeit der Erzeugung lautet die Frage: Mit welcher von den beiden vorzüglich zu verwendenden Antriebsarten, Dampf- oder elektrischem Antrieb, ist bei gleich starker Ausführung und sonst gleichen Abmessungen der Straße ein bestmögliches Ausbringen der Erzeugung zu erwarten<sup>2)</sup>?

Der Walzmotor folgt den Bewegungen des durch den Maschinisten betätigten Steuerhebels eindeutig und schnell. Auch entspricht bei allen Belastungen einer jeden Stellung des Steuerhebels eine immer wieder annähernd gleiche, der Steuerhebelstellung zugeordnete Drehzahl an den Walzen. Die Steuerung des elektrischen Antriebes von Umkehrwalzwerken ist daher einfach für den Maschinisten, bequemer

\*) Vorgetragen in der Gemeinschaftssitzung des Maschinen- und des Walzwerksausschusses am 4. November 1938 in Düsseldorf. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

<sup>1)</sup> L. Kinkeldei: Z. VDI 81 (1937) S. 811/15; G. Bauer: Z. VDI 81 (1937) S. 758/62; F. Münzinger: Z. VDI 82 (1938) S. 969/78; Düwell: Bergbau 50 (1937) S. 428/33 u. 441/45; vgl. Demag-Nachr. 11 (1937) S. B 44/48.

<sup>2)</sup> Ursprünglich nach mir gemachten Angaben mit 1,5 Mill. Reichsmark angenommen.

<sup>3)</sup> H. Wendt: Z. VDI 70 (1926) S. 585/92.



jedenfalls als bei den bisher üblichen Dampfmaschinen. Wenn auch nicht in allen, so kann doch in vielen Fällen mit dem elektrischen Antrieb eine größere Erzeugung herausgebracht werden.

Für die Dampfmaschine ist es nun durchaus möglich, diese angenehmen betrieblichen Eigenschaften des elektrischen Antriebes durch entsprechende Verbesserung ihres Aufbaues und der Steuerung zu erreichen. Die Anforderungen an den Antrieb einer Umkehrwalzenstraße sind kurz folgende: Im Leerlauf soll ein langsamer und gleichmäßiger Lauf der Maschine gewährleistet sein, damit in den Walzpausen eine gleichmäßige Temperatur der Walzen erhalten werden kann. Ihr Anzugsmoment und Durchzugsmoment soll in allen Stellungen der Kurbel möglichst gleichmäßig und rasch veränderlich sein, damit die Maschine, wenn der Block von den Walzen gefaßt wird, nicht stehenbleibt oder, wenn der Block die Walzen wieder verläßt, nicht durchgeht. Die Walzgeschwindigkeit muß leicht, bequem und sicher geregelt und beherrscht werden können. Für den elektrischen Antrieb können diese Forderungen als erfüllt angesehen werden.

Beim Dampfmaschinenantrieb setzt aber die Erfüllung aller dieser vorgenannten Bedingungen eine umfangreiche Aenderung der bisher üblichen Bauart der Dampfwalzenzugmaschine voraus. Die hauptsächlichsten Kennzeichen dieser Aenderung sind: Auflösung der Maschine in kleine Zylindereinheiten gleicher Abmessungen und Mehrkurbelbauart in Reihenanordnung nebeneinander, sowie Anwendung hoher Drehzahlen in Verbindung mit Drehmomentwandlern.

Durch diese Bauart wird die wirksame Kolbenfläche in ihrer Größe nicht geändert, sie wird nur auf mehrere und kleinere Arbeitszylinder verteilt. Auch erfährt die mittlere Kolbengeschwindigkeit gegenüber den bisher üblichen Bauarten keine Aenderung, denn die Drehzahl kann unter einer entsprechenden Verkleinerung des Kolbenhubes vergrößert werden.

Es ergeben sich auf diese Weise eine Reihe beachtlicher Vorteile: Zunächst vermindern sich die Gestängedrucke durch Verkleinerung der Zylinderabmessungen. Deshalb können die den größten Beanspruchungen unterliegenden Bauteile, also Rahmen, Triebwerk und Dampfzylinder, mit größerer Sicherheit ausgeführt werden, die Stücke sind im Gewichte leichter und bei der Aufstellung und dem Abbau bequemer zu handhaben. Weiter führen die im Betriebe auftretenden unvermeidlichen Wärmedehnungen und elastischen Formänderungen infolge der kleineren Bauteile zu gleichmäßigeren und damit günstigeren Beanspruchungen. Die Betriebssicherheit dieser Maschinen ist daher größer. Für den praktischen Maschinenbetrieb hat die Reihenbauart mit mehreren Zylindern gleicher Abmessungen, gleichen Kolben, Kolbenringen, Stangen und Stopfbüchsen Vorteile für Wartung und Ersatzhaltung, und die Maschine als solche wird für die Bedienung übersichtlicher.

Die Auflösung der Maschine in kleine Zylindereinheiten und die Anwendung der Mehrkurbelbauart wirken sich besonders günstig auf den ruhigen Lauf der Maschine aus. Bekanntlich wird der Massenausgleich der Maschine um so besser, je größer die Anzahl ihrer Kurbeln ist. Eine Mehrkurbelmaschine läuft also auch bei höherer Drehzahl ruhiger als eine Maschine mit weniger Zylindern und niedriger Drehzahl.

Die steuerungstechnischen Vorteile der Mehrkurbelmaschine liegen darin, daß sich bei ihr ein günstiges Anzugsmoment in allen Stellungen der Kurbel und mit kleinen Füllungen ergibt. Die nähere Untersuchung zeigt,

daß Ausführungen mit drei oder fünf Kurbeln den größten Vorteil in dieser Beziehung bieten. Die Dreikurbelmaschine, der Drilling, ist im Walzwerksbetrieb bekannt und oft ausgeführt worden. Er zeichnet sich durch guten Rundlauf und große Beweglichkeit aus. Während nun bei der Dreikurbelmaschine und bei Füllungen von 60 %, einstufige Dehnung des Dampfes und Berücksichtigung der endlichen Schubstangenlänge vorausgesetzt, das kleinste Drehmoment bei ungünstigster Kurbelstellung 27 % des größten Drehmomentes bei günstigster Kurbelstellung beträgt, wird dieser Wert bei einer Fünfkurbelmaschine 51 % und damit besser. Die entsprechenden Werte für Zweikurbelmaschinen mit 90° Kurbelversetzung, für Vierkurbel- und für Sechskurbelmaschinen mit 90° und 60° Kurbelversetzung betragen 8,0 %, 26,5 % und 46 %. Die Dreikurbelmaschine ist also in dieser Beziehung besser als Zweikurbelmaschinen, gleichwertig den Vierkurbelmaschinen und nicht viel schlechter als die Sechskurbelmaschine. Allen überlegen ist die Fünfkurbelmaschine.

Die Drei- und Fünfkurbelmaschinen haben den weiteren Vorteil, daß sie auch aus der Ruhe heraus im Leerlauf mit kleinen Füllungen angefahren werden können und dadurch infolge des häufigen Umkehrens eine erhebliche Dampfersparnis ermöglichen. Diese kleinsten Anfahrüllungen für Leerlauf betragen für die ungünstigste Kurbelstellung bei der Dreikurbelmaschine 32 % und bei der Fünfkurbelmaschine 15 % Füllung. Die Vergleichswerte sind für Zweikurbel-, Vierkurbel- und Sechskurbelmaschinen 58 %, 57 % und 32 %.

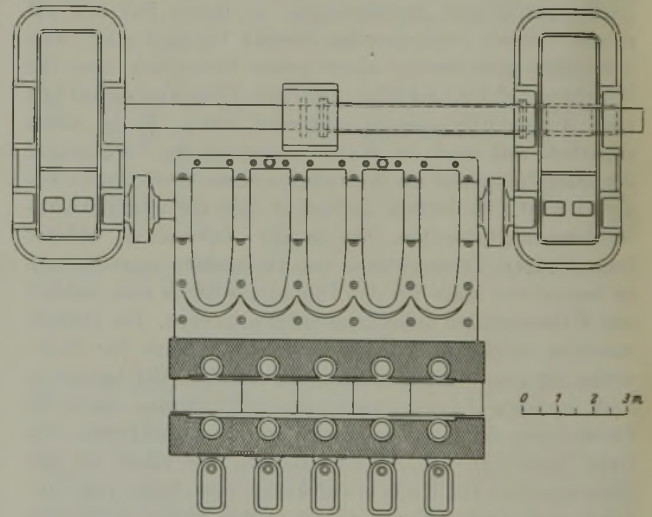


Bild 1. Walzenzug-Umkehrdampfmaschine mit 450 mt Drehmoment; 630 mm Dmr.;  $\times$  950 mm Hub;  $\pm$  60 U/min; 38 atü; Uebersetzung 1: 4.26.

Die steuerungstechnischen Vorteile, die man mit der Erhöhung der Drehzahlen der Antriebsdampfmaschine erzielt, liegen zunächst in der Verbesserung des Ungleichförmigkeitsgrades. Das äußert sich darin, daß die Antriebsmaschine auch bei geringen Drehzahlen der Walzen gut steuerfähig in der Hand des Maschinisten bleibt. Dann aber hat die Maschine auch eine größere Anpassungsfähigkeit, die bei den ständig stark wechselnden Drehkräften des Walzbetriebes wichtig ist. Im Vergleich zu einer langsam laufenden Maschine werden bei einem mehrzylindrigen Schnellläufer, bezogen auf die Zeiteinheit, mehr Kraftimpulse ausgeübt, die durch die Bedienung der Maschine oder selbsttätig durch einen Regler beeinflußt werden können.

Die Verwirklichung der höheren Maschinendrehzahlen zwingt dazu, Getriebe anzuwenden. Diese haben sich seit



langen im Walzwerksbau bei Antriebsmaschinen bewährt, so daß grundsätzlich gegen sie keine Bedenken bestehen können. Sie ermöglichen eine Planung der Dampfmaschine für die günstigsten Betriebsverhältnisse, da man durch sie unabhängig von den durch die Bedingungen der Straße festgelegten Drehzahlen und von dem Drehmoment wird. Infolge der heute angewendeten höheren Maschinendrehzahlen kann man bei unveränderten Drehzahlen der Straße mit der Übersetzung höher gehen. Beschränkungen in der Anwendung von Getrieben treten auch bei sehr hohen abnehmenden Drehmomenten nicht auf, da immer die Möglichkeit besteht, das Drehmoment, falls notwendig, in zwei Getrieben unterzubringen, wie dies in einer Ausführung, die sich zur Zeit im Bau befindet und die Bild 1 zeigt, geschieht. Diese Ausführung wird sogar noch besonders günstig durch die gleichmäßigere Beanspruchung der Kurbelwelle infolge des beiderseitigen Abtriebes.

Es ist selbstverständlich, daß die vorgeschriebene Bauart für alle derartigen Anlagen, gleichgültig, mit welcher Dampfspannung sie arbeiten, mit Erfolg durchgeführt werden kann. Bei der Anwendung von Hochdruckdampf bildet sie geradezu eine Voraussetzung, da sie allein es erst ermöglicht, die Arbeitsdrücke so weit herunterzusetzen, daß sie bequem beherrscht werden können. Der Verwendung von Hochdruckdampf kommt für Neuanlagen eine erhöhte Bedeutung zu, und hier ergibt sich im Zusammenhang mit der Verkleinerung der Maschinenabmessungen bei Hochdruck auch ein geringerer Raumbedarf dieser Maschinen gegenüber den früheren Ausführungen.

So z. B. zeigt Bild 2 eine Maschine ohne Vorgelege älterer Ausführung mit einem Drehmoment von 180 mt und 0 bis  $\pm 180$  U/min. Ihre Abmessungen sind  $2 \times 1200/1800$  mm Zylinderdurchmesser bei 1500 Hub und 12 atü Dampfdruck. Bild 3 stellt eine andere ältere Ausführung dar mit Vor-

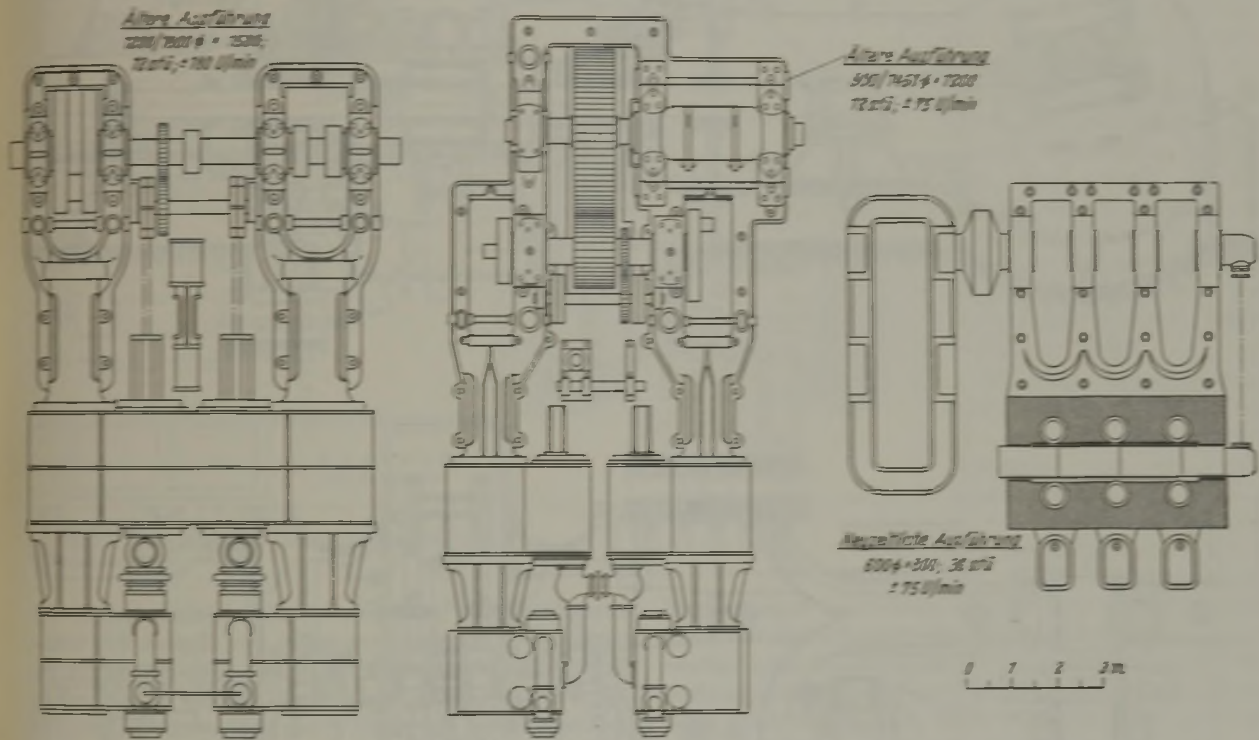


Bild 2 und 3. Platzbedarf von Walzenzug-Umkehrdampfmaschinen mit 180 mt Drehmoment älterer Ausführung im Vergleich mit neuerer Ausführung.

Bei der Entscheidung, ob eine solche Maschine, ähnlich den bekanntesten Ausführungen der Großmotoren, stehend oder, wie im Dampfmaschinenbau bei solchen Größenabmessungen bislang üblich, liegend auszuführen ist, wird man letztgenannte Ausführung vorziehen müssen. Bei einer liegenden Maschine sind alle wichtigen Teile, wie Kurbelwelle, Triebwerk, Dampfzylinder mit Zubehör und Dampfventile, zugänglich, und Ueberholungsarbeiten können schneller ausgeführt werden. Bildet man den Rahmen mit oben offener Führung nach dem bekannten Master der Großmaschinen aus, so liegt nach Abnehmen der Kurbelwelle das gesamte Triebwerk zur Besichtigung frei, und die schweren Teile können unmittelbar mit dem Kran gefaßt und bewegt werden. Weiterhin läßt sich die Steuerung bei einer liegenden Ausführung zwangloser unterbringen. Die Schmierung der Dampfzylinder wird zuverlässiger und die Abnutzung der Zylinderlaufbahnen geringer, da die Dampfkolben als Schwebekolben ausgebildet, durch vordere und hintere Führung sicher gefaßt und geführt werden können.

gelegt 1 : 2,4, einem Drehmoment von ebenfalls 180 mt bei 0 bis  $\pm 75$  U/min am langsamlaufenden Getriebezapfen. Ihre Abmessungen sind  $2 \times 900/1450$  mm Zylinderdurchmesser bei 1200 Hub und 12 atü Dampfdruck. Eine gleich starke Ausführung der neuen Bauart zeigt Bild 4. Bei einer Uebersetzung von 1 : 3,5, einem Drehmoment von 180 mt und 0 bis  $\pm 75$  U/min am langsamlaufenden Getriebezapfen erhält sie drei Zylinder zu je 600 mm Dmr. bei 800 Hub und bei 36 atü Dampfdruck. Der Raumbedarf einer Fünfkurbelmaschine mit einem Drehmoment von 450 mt bei 0 bis  $\pm 60$  U/min am langsamlaufenden Getriebezapfen, wie sie sich zur Zeit in Ausführung befindet, ist in Bild 1 dargestellt. Man sieht, daß sie nicht viel mehr Platz beansprucht als die wesentlich schwächeren Maschinen älterer Bauart. Beachtenswert ist die Gegenüberstellung einer elektrischen Anlage von etwa 400 mt, also vergleichsweise geringerer Leistung, nach Bild 5. Die Kraftzentrale, die mit Recht auch noch hätte berücksichtigt werden müssen, ist nicht dargestellt. Trotzdem ist der Raumbedarf allein von Motoren, Ilnnergruppe und den zugehörigen Nebeneinrich-



tungen das Mehrfache von dem der Dampfmaschine mit allen zu einem geordneten Betrieb gehörenden Nebeneinrichtungen.

Die Verwirklichung dieser Bauart stellte an die bauliche Durchbildung erhebliche Anforderungen, denen man jedoch nach jeder Richtung hin gerecht werden konnte. Die Aufgaben, die die Drehzahlerhöhung an die Gestaltung des Triebwerkes stellt, sind im wesentlichen die gleichen, wie sie im Verbrennungsmotorenbau vorliegen, also Beachtung der kritischen Drehschwingungen und Prüfung des Massenausgleiches. Für letztgenannten selber, die Ermittlung der günstigsten Kurbelfolge und der auf das Fundament wirkenden Massenkräfte, ergeben sich die allgemein bekannten

steuerung sein, da diese mit ihren geringen schädlichen Räumen und Flächen für Umkehrmaschinen die dampfwirtschaftlichste wird, und sie soll eine Expansionssteuerung sein, d. h. sie soll eine weitgehende, stufenlose Veränderung der Füllungen von absolut Null bis zu mindestens 60% mit den entsprechenden erforderlichen Kompressionen und Voreintritten ermöglichen.

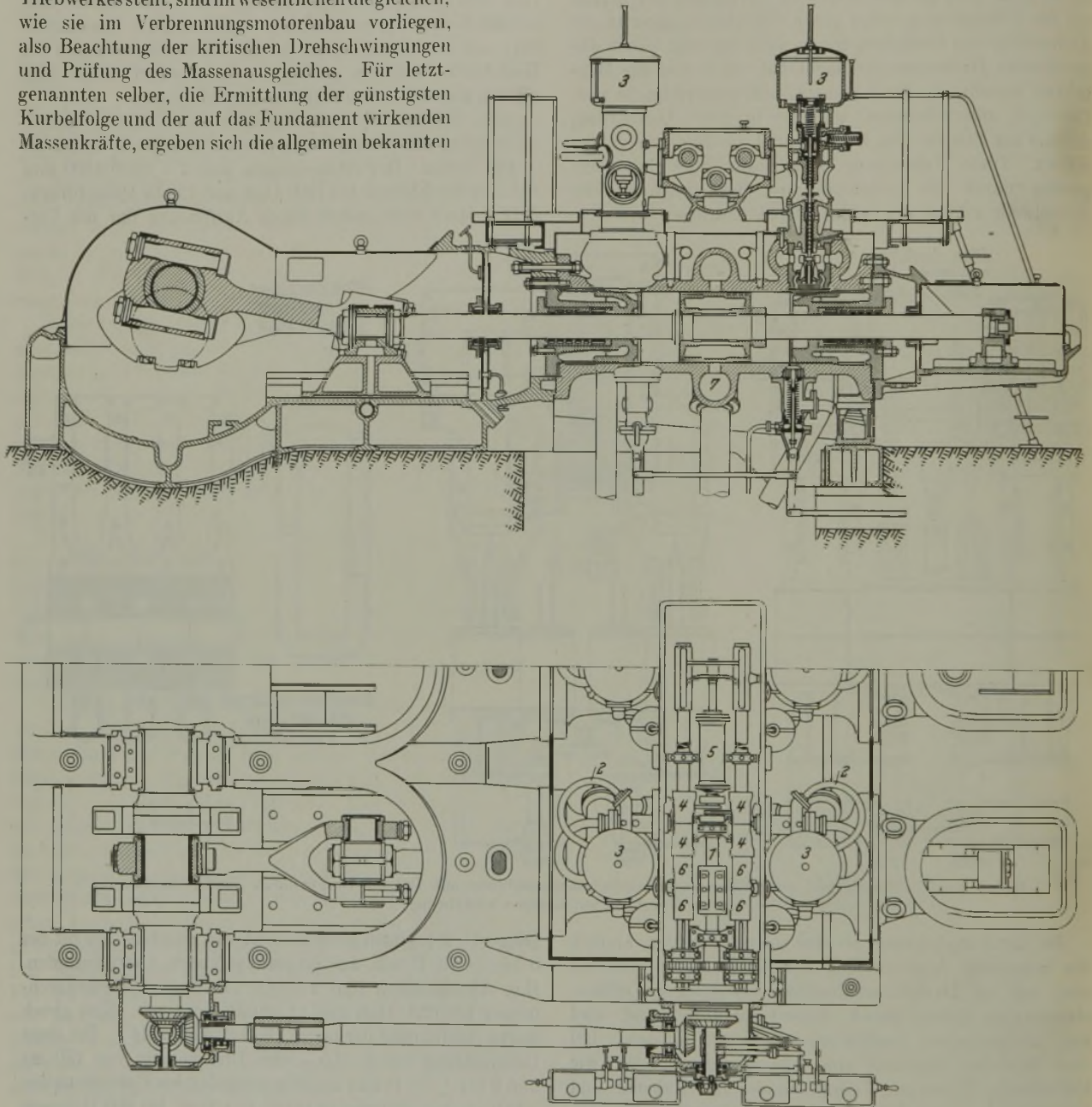


Bild 4. Umkehrdampfmaschine mit ölhdraulischer Steuerung.

Bedingungen, da der Umlaufsinn der Maschine auf Massenkräfte und Momente keinen Einfluß hat, diese vielmehr nur von der Umlaufgeschwindigkeit und nicht vom Drehsinn abhängig sind. Alle diese Aufgaben lassen sich heute in zufriedenstellendem Maße lösen und bieten nichts grundsätzlich Neues und Unsicheres.

Anders liegen diese Verhältnisse bei der Steuerung dieser neuen Umkehrdampfmaschine. Es kann wohl gesagt werden, daß erst das Vorhandensein einer geeigneten Steuerung die Voraussetzung für den Bau einer solchen Maschine wurde. Die Steuerung soll möglichst eine Ventil-

Unter den bekannten Arten von Steuerungen für Umkehrwalzenzugmaschinen befindet sich keine, die als reine, allen Anforderungen entsprechende Expansionssteuerung anzusprechen wäre<sup>4)</sup>. Wenngleich eine ganze Reihe von Steuerungen bekannt ist, die als Expansionssteuerungen bezeichnet werden können, so ist doch eine einwandfreie Gestaltung dieser Steuerungen mit den bislang angewendeten Mitteln nicht erreicht worden. Im allgemeinen wurden Kolbenschiebersteuerungen gebaut, die durch ihre großen

<sup>4)</sup> K. Möbus: Dr.-Ing.-Dissert. Techn. Hochschule Karlsruhe (1927).



schädlichen Räume und Flächen den Dampfverbrauch nachteilig beeinflussen. Eine stufenlose Veränderung der Füllungen von absolut Null bis zu den größten konnte mit keiner ihrer Ausführungen erreicht werden. Mechanisch hatten sie den Nachteil, daß sie alle große bewegte Massen mit verwickelten Gestängen bedingten, die diese Steuerungen für hohe Drehzahlen ungeeignet machten<sup>5)</sup>. Die Verschiebewege und die Widerstände beim Verstellen der Steuerungen waren groß, so daß sie ohne Anwendung von Hilfsmotoren nicht beherrscht werden konnten. Die Anordnung

kürzer als z. B. die eines Otto- oder Dieselmotors gleicher Drehzahl. Das Dampfventil muß weiterhin zeitlich genau geöffnet und geschlossen werden, da schon geringe Abweichungen unzulässig sind und z. B. bei Beginn der Voreinströmung zu Stößen im Lauf der Maschine Anlaß geben können.

Die gesamte Oeffnungsdauer des Einlaßventils einer Dampfmaschine von 300 U/min bei ungefähr 10% Füllung ist  $\frac{1}{42}$  s, wohingegen die Oeffnungsdauer des Einlaßventils eines Otto-Motors von der vierfachen Drehzahl, also 1200 U/min, erst  $\frac{1}{35}$  s beträgt. Die Bewältigung der bei diesen kurzen Oeffnungszeiten auftretenden Massenkräfte, die zu dem Abreißdruck des Dampfventils hinzutreten, erschien mit einem mechanischen Gestänge nicht mehr möglich. Die ölhdraulische Steuerung hat gegenüber der mechanischen den Vorteil, daß alle für sie benötigten Schieber, Nocken sowie sonstigen bewegten Teile von Kräften fast vollkommen entlastet sind, und daß die zum Oeffnen des Ventils notwendige Kraft durch Drucköl erzeugt und in einem Rohr übertragen wird. Die Steuerung kann als praktisch masselos und frei von Reibung und Rückdrücken auf den Regler bezeichnet werden.

Mit dieser Bauart sind an einer 4000-PS-Maschine mit 36 atü Frischdampfdruck Drehzahlen von 300 U/min erreicht worden. In Bild 4 ist diese Steuerung in Ansicht von oben dargestellt. Teil 1 ist eine Welle, von der aus die

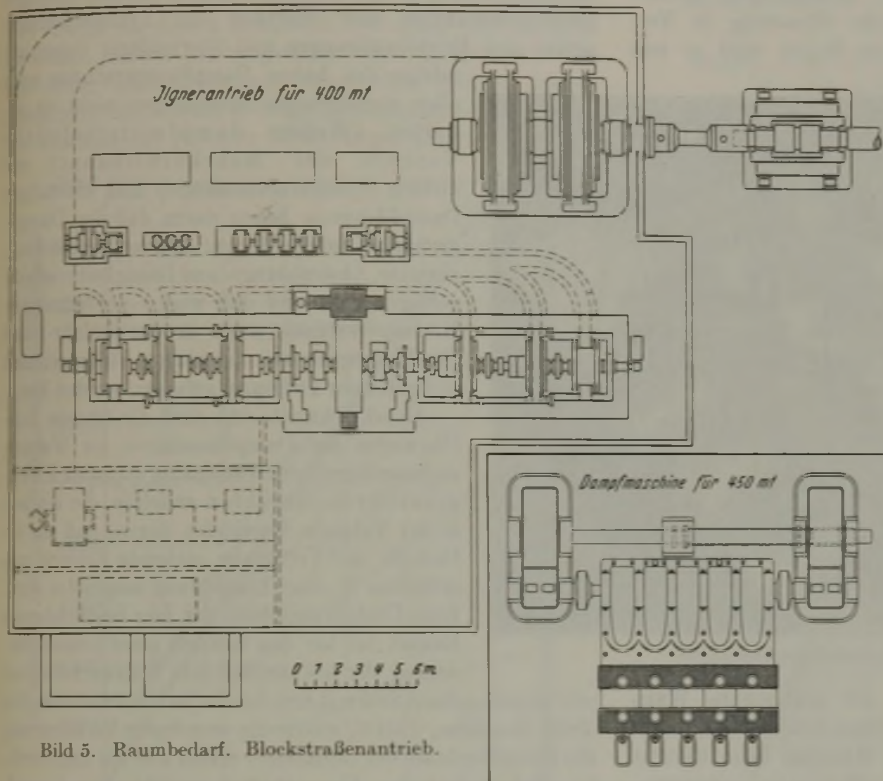


Bild 5. Raumbedarf. Blockstraßenantrieb.

der früher ausschließlich verwendeten Fliehkraftregler schloß sich deshalb von selbst aus, weil vor allen Dingen der Regler und dann das ganze Steuerungssystem mit zu großen Massen behaftet und daher zu träge wurde. Wo Versuche zur Anwendung dieser Regler bei Steuerungsarten für Umkehrwalzenzugmaschinen gemacht worden sind, wie z. B. bei der Steuerung nach Makenzie, konnten sie zu keinem Erfolg führen.

Die „Demag“ hat diese Frage der Steuerung durch Anwendung einer ölhdraulischen Ventilsteuerung gelöst. Nachdem sich diese Steuerung seit drei Jahren im Dauerbetrieb bewährt hat und von Anfang an, trotz einiger Verbesserungen, die an verschiedenen Einzelteilen notwendig wurden, zu keiner Betriebsstörung Anlaß gegeben hat, ist ihre Betriebssicherheit unter Beweis gestellt. Aus betrieblichen und oben erwähnten dampfwirtschaftlichen Gründen wird diese Steuerung als Ventilsteuerung gebaut. Die Ventile haben sich bis zu hohen Dampfdrücken von 40 atü und mehr und bei hohen Ueberhitzungen in vielen Ausführungen gut bewährt. Sie haben den Vorteil, daß sie auch bei starkem Schwanken der Ueberhitzung im Dauerbetrieb ohne jede Schmierung bei fast gar keiner Abnutzung durchaus dicht halten. Die zu überwindenden Schwierigkeiten lagen in der Betätigung dieser Ventile. Wenn auch ihre Massen nicht sehr groß sind, so sind doch die Oeffnungszeiten der Steuerteile einer Dampfmaschine ganz erheblich

Steuerpumpen angetrieben werden; diese pressen Drucköl durch die Rohre 2 unter die Bewegungskolben der Dampfventile, deren Ventilhauben in Teil 3 dargestellt sind. Die Oeffnungszeiten werden durch die Einlaßnocken 4 gesteuert, deren axiale Verschiebung durch den Stellzylinder 5 die Umsteuerung bewirkt und die verschiedenen Füllungen von absolut Null bis zu 80% ergibt. Es ist je ein Nocken für Vorwärtsgang und einer für Rückwärtsgang vorhanden. Durch entsprechende Ausbildung dieser Nocken wird erreicht, daß die Voreinströmung über den gesamten Füllungsbereich die erforderliche Größe erhält, und daß alle Füllungen im gesamten Bereich vorn und hinten bei Vorwärts- und Rückwärtsgang der Maschine gleich sind. Die Maschine hat Schlitzauspuff, so daß durch die zusätzlich angeordneten Auslaßventile, die besser als Kompressionsregelventile bezeichnet werden, nur die Kompression, entsprechend den einzelnen Füllungen, geregelt wird. Diese Auslaßventile werden, da sie nicht den gesamten Dampf abzuführen brauchen, außerordentlich klein. Sie können daher, zumal da auch ihre Oeffnungszeit gegenüber den Oeffnungszeiten der Einlaßventile relativ lang ist und sie nur schleichend angehoben werden, mechanisch gesteuert werden, und zwar durch die Auslaßnocken 6, von denen wiederum je einer für Vorwärts- und für Rückwärtsgang der Maschine vorhanden ist. Da alle Teile unter Oel laufen, ist auf die Dauer kein praktisch meßbarer Verschleiß an der Steuerung festzustellen.

<sup>5)</sup> Power 63 (1926) S. 968/72; vgl. Z. VDI 71 (1927) S. 237/38.



Die geringen bewegten Steuerungsmassen, das Fehlen eines Steuerrückdruckes, die kurzen Steuerwege und die kleinen Kräfte, die zur Betätigung der Steuerung erforderlich sind, erlauben es nun, einen der bekannten öldrucklichen Drehzahlregler zur Regelung der Maschine anzuwenden. Diese Regler sind in den letzten zehn Jahren zu einer außerordentlichen Betriebssicherheit entwickelt worden, sie arbeiten mit großer Energie und sehr kurzen Öffnungs- und Schließzeiten, so daß sie bereits mit Erfolg zur Regelung einer Anzahl von durchlaufenden Dampfmaschinen für Walzwerksantrieb herangezogen werden konnten. Durch die öldruckliche Steuerung in Verbindung mit einem öldrucklichen Regler wird es nun

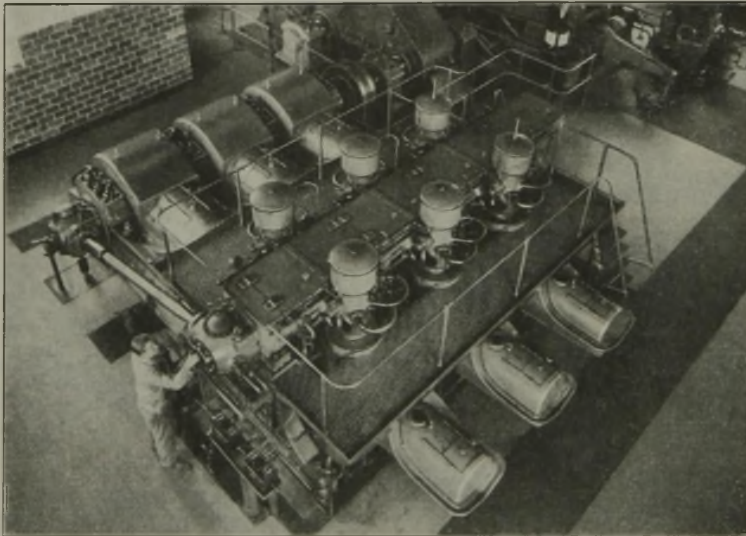


Bild 6. Neuzeitliche Umkehrdampfmaschine.

möglich, während des Walzens die gewünschte Walzgeschwindigkeit selbsttätig gleichbleibend zu halten und allzu große Drehzahländerungen der Maschine beim Eintritt oder Austritt des Blockes aus den Walzen zu verhindern. Die heute zur Verfügung stehenden Mittel, in Verbindung mit dieser Steuerung, gestatten es auch, die Dampfwalzenzugmaschine von einer günstig zur Walzenstraße gelegenen Bühne aus zu steuern, und das wird sich, infolge des besseren Ueberblicks des Maschinisten, vorteilhaft auf die Walzerzeugung auswirken.

Was das Arbeitsverfahren des Dampfes anbelangt, so empfiehlt es sich, die Dehnung einstufig durchzuführen, da hierbei die Maschine gegenüber der zweistufigen Dehnung der Verbundmaschine auf die Steuerung erheblich schneller anspricht<sup>6)</sup>. Die Maschinen mit zweistufiger Dehnung in Verbindung mit dem Stauventil nach Kießelbach oder ähnlich wirkenden Vorrichtungen waren dampfwirtschaftlich gut, da bei ihnen auch bei kurzen Stichen und annähernd Vollfüllung im Hochdruckzylinder noch eine gewisse Dehnung des Dampfes ausgenutzt werden konnte. Die raschlaufenden Mehrzylindermaschinen nutzen jedoch diese hohen Dehnungsgrade schon in einem Zylinder aus, weil sie, was ihr Hauptmerkmal ist, mit kleinen Füllungen gefahren werden.

Die Dampfzylinder werden einfach im Aufbau, wie dies Bild 4 zeigt, und durch die Auspuffschlitze 7 können stoßweise anfallende große Dampfmenen mit Sicherheit abgeführt werden. Das Arbeitsverfahren ist kein reines Gleichstromverfahren, da zusätzliche kleine Auslaßventile

vorhanden sind, die, wie oben bereits erwähnt, zur Regelung der Kompression dienen. Die einstufige Dehnung des Dampfes bietet den weiteren Vorteil, daß man mit hohen Temperaturen von etwa 400° an den Zylinder herangehen kann und dadurch dampfwirtschaftlich besser arbeitet. Das kann man natürlich auch bei einer Maschine mit mehrstufiger Dehnung, aber infolge der weitgehenden Dehnung des Dampfes stellt sich bei einstufiger Dehnung im Zylinder eine niedrige mittlere Temperatur ein, die mit Sicherheit die Erhaltung eines schmierfähigen Ölfilms gewährleistet. Bei Verwendung geeigneter Schmieröle und bei sorgfältiger Durchkonstruktion und Wartung der Zylinderschmiergeräte sind Betriebsstörungen und übermäßiger Verschleiß infolge der hohen Dampftemperaturen nach allen vorliegenden Erfahrungen nicht zu erwarten. Weitere dampfwirtschaftliche Vorteile der Mehrkurbelbauart mit kleinen Zylinderabmessungen und einstufiger Dampfdehnung liegen darin, daß der Dampfverbrauch infolge der geringeren Niederschlagverluste, Abstrahlungs- und Lässigkeitsverluste geringer wird und daß wegen der günstigen Kurbelversetzung auch in der Anfahr- und Beschleunigungszeit mit kleinen Füllungen und weitgehender Dehnung gefahren werden kann.

Es ist bekannt, daß auch die älteren Ausführungen der Dampfmaschinen als Walzenzugmaschinen verhältnismäßig günstige Energieverbrauchszahlen erzielten, die einfach in der Tatsache begründet liegen, daß die im Dampfe zur Verfügung stehende Energie unmittelbar in einer Einrichtung umgesetzt wird. Eine Umkehrmaschine der hier beschriebenen Bauart ist für den Antrieb einer Schachtförderung der bekanntlich dem Walzwerksbetrieb

sehr ähnelt, gebaut und seit drei Jahren im Dauerbetrieb. Mit dieser Maschine, Bild 6, wurde die errechnete Verbesserung des Dampfverbrauches tatsächlich erzielt und die angestrebten steuertechnischen Eigenschaften erreicht. Der Dampfverbrauch der Maschine beträgt nach Messungen des Vereins zur Ueberwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen 7,64 kg je Schacht-PS bei 32 atü Frischdampf, 380° und einem Gegendruck von 1 atü<sup>7)</sup>. Demgegenüber liegt der Dampfverbrauch einer Umkehrmaschine in bekannter Zwillingbauart zum Antrieb einer Schachtförderung mit 12 atü Frischdampf, 300° und einem Gegendruck von 0,2 atü bei ungefähr 15 kg je Schacht-PS, sie hat also fast den doppelten Dampfverbrauch als die Hochdruckmaschine neuer Bauart. Die Erfahrungen, die mit dieser Anlage gewonnen wurden, können nun ohne weiteres auf den Walzwerksantrieb übertragen werden. Der Energieverbrauch für eine neue, schnelllaufende Dampfwalzenzugmaschine ist in folgendem für zwei verschiedene Beispiele durchgerechnet worden, die aus der Fülle der verschiedenen Möglichkeiten herausgegriffen wurden.

Bei Frischdampf von 14 atü und 300° an der Maschine und bei Kondensationsbetrieb mit einem Gegendruck von 0,2 ata steht nach der I-S-Tafel ein Wärmegefälle von 178,6 kcal zur Verfügung. Das ist die Wärme, die sich theoretisch in Arbeit umsetzen läßt. Rechnet man bei der Umsetzung im günstigsten Punkte mit 26 % Verlusten durch Abstrahlung, Lässigkeit, Abkühlung an den schädlichen Flächen, Drosselung durch die Steuerteile, also mit einem

<sup>6)</sup> J. Stumpf: Die Gleichstrom-Dampfmaschine, 3. Aufl. München 1922. S. 208.

<sup>7)</sup> Presser & Dümmler: Untersuchung neuzeitlicher Fördermaschinen. Sonderdruck des Hauses der Technik. Essen. Nr. 12/38.



thermodynamischen Wirkungsgrade von 74 %, der nach den vorliegenden Erfahrungen als angemessen erscheint, und mit einem mechanischen Wirkungsgrade von 86,5 % für Maschine und Getriebe, dann ergibt sich ein Dampfverbrauch für die effektiv geleistete Kilowattstunde am Kammwalzzapfen von 7,5 kg. Der Energieaufwand für den Betrieb der Kondensation ist noch nicht berücksichtigt, so daß diese Zahl noch eine geringe Erhöhung erfährt. In dem Leistungsschaubild nach Bild 7 sind die Dampfverbrauchszahlen in Abhängigkeit von der abgegebenen Leistung und der Umdrehungszahl der Walzen dargestellt. Man ersieht aus diesem Schaubild, das sinngemäß auch für Maschinen anderer Leistungszahlen seine Gültigkeit behält, daß dieser Dampfverbrauch über einen großen, hauptsächlich für den Betrieb in Frage kommenden Arbeitsbereich der Maschine nur geringen Aenderungen unterworfen ist.

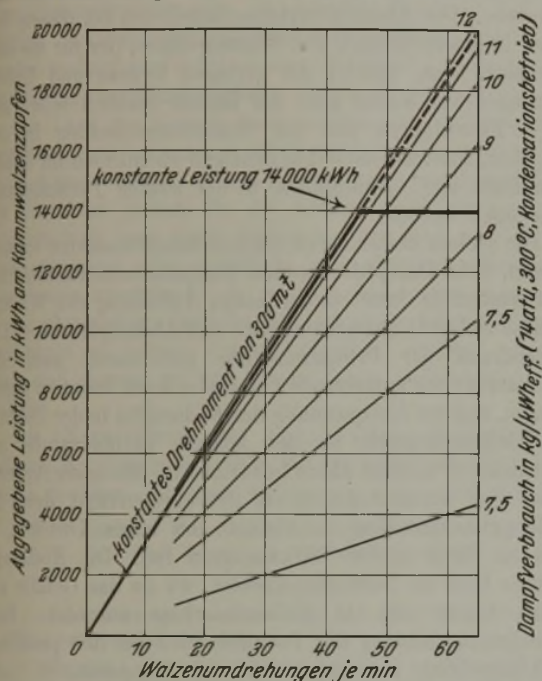


Bild 7. Leistungsschaubild einer 5-Zylinder-Dampf-Umkehr-Walzenzugmaschine mit 300 m Drehmoment, 0 bis ± 60 U/min mit Dampfverbrauchszahlen in kg/kWh eff. bei 14 atü, 300° Frischdampf und Kondensationsbetrieb.

Bei Frischdampf von 38 atü, 400° an der Maschine und Auspuffbetrieb werden die in dem Leistungsschaubild nach Bild 8 dargestellten Werte erreicht. Für den wirtschaftlichsten Betriebsbereich ergibt sich in diesem Falle ein Dampfverbrauch von 6,75 kg für die effektiv am Kammwalzzapfen geleistete Kilowattstunde. Die Energie, die in dem qualitativ hochwertigen Abdampf noch enthalten ist, und die zur Krafterzeugung oder für Heizzwecke nutzbar gemacht werden kann, wird durch diese Verbrauchszahlen noch nicht bewertet.

Der Dampfverbrauch zum Auswalzen von 1 t Walzgut wird für die neue Bauart am sichersten angegeben, wenn man ihn im Vergleich mit den bekannten Verbrauchszahlen der älteren Maschinen bestimmt. Die Verbesserung des Dampfverbrauches ergibt sich, kurz zusammengefaßt, aus der Bauart (Verkleinerung der schädlichen Räume und Flächen), der Fahrweise (Expansions- statt Drosselsteuerung) und dem infolge der höheren Drücke und Ueberhitzungen höheren ausnutzbaren Wärmegefälle.

Nach der „Hütte“ und anderen Untersuchungen ergibt sich bei achtfacher Verlängerung ein Dampfverbrauch zwischen 120 und 160 kg für die Tonne bei Dampfdrücken

von 8 bis 14 atü. Diese Angabe bezieht sich auf die früher gebräuchlichen Maschinen mit Kolbenschiebersteuerung, die nur geringe Ueberhitzungen zuließen.

Eine amerikanische Maschine mit Ventilsteuerung, 17,7 atü Dampfdruck, aber noch geringer Ueberhitzung von 288° erzielte einen Dampfverbrauch von 128 kg/t bei elfacher Verlängerung, der, reduziert auf achtfache Verlängerung und mit einem Sicherheitszuschlag von 10 %, wegen der Ungenauigkeit der Messungen 120 kg/t ergibt.

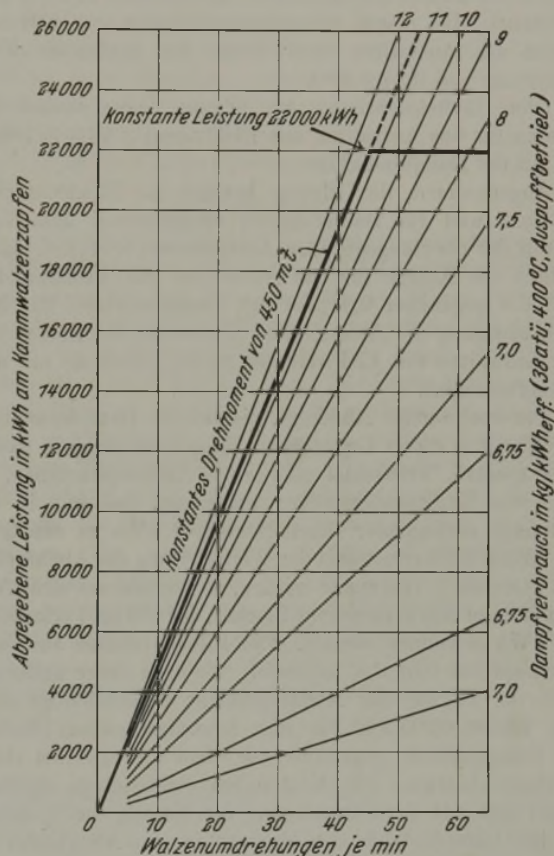


Bild 8. Leistungsschaubild einer 5-Zylinder-Dampf-Umkehr-Walzenzugmaschine mit 450 m Drehmoment, 0 bis ± 60 U/min mit Dampfverbrauchszahlen in kg/kWh eff. bei 38 atü, 400° Frischdampf und Auspuffbetrieb.

Diese Maschine mit Ventilsteuerung erreichte also einschließlich Verbrauch für Leerlauf, Umsteuern usw. die unteren, von der „Hütte“ für diesen Fall angegebenen Werte.

Rechnet man für die Hochdruckmaschine lediglich die aus der Erhöhung des Wärmegefälles sich ergebende Verbesserung des Dampfverbrauches, eine Verbesserung, die unter allen Umständen eintreten muß, und die noch nicht einmal die Verbesserung durch die Bauart und Fahrweise berücksichtigt, so ergibt sich bei achtfacher Verlängerung ein Dampfverbrauch von 100 kg/t.

Die Messungen an elektrisch und dampfangetriebenen Walzwerken haben nun ergeben, daß für diese achtfache Verlängerung an der Walzwerkswelle 11 kWh eingeleitet werden müssen<sup>6)</sup>. Das bedeutet, daß die Dampfmaschine nach dem Leistungsschaubild von Bild 7 einen durchschnittlichen Dampfverbrauch von 9,1 kg/kWh hat, also 35 % über dem günstigsten Dampfverbrauch von 6,75 kg/kWh liegt. Die Uebereinstimmung mit den amerikanischen Ergebnissen ist befriedigend, denn diese errechnen einen

<sup>6)</sup> J. Puppe: Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs an Walzwerken. Düsseldorf 1909.



Zuschlag von insgesamt 44 % über dem günstigsten Verbrauchswert.

Rechnet man mit einem Dampfpriß von 3 *R.M.* für die Tonne, der bereits den bei Teillasten schlechteren Kesselwirkungsgrad berücksichtigt, dann kostet das Auswalzen einer Tonne bei achtfacher Verlängerung 0,30 *R.M.* bei Dampftrieb.

Beim elektrischen Antrieb sind für die gleiche Walzleistung bei einem Verbrauch von 11 kWh an der Walzwerkswelle an den Klemmen des Ilgner-Motors 17 kWh einzuleiten<sup>9)</sup>. Bei einem Kilowattstundenpreis von 0,02 *R.M.* kostet das Auswalzen einer Tonne bei achtfacher Verlängerung also 0,34 *R.M.*<sup>9a)</sup>.

Ohne Berücksichtigung der Tilgung liegen danach die Kosten für das Auswalzen mit Elektromotor 13,5 % höher als mit der Dampfmaschine.

Angenommen, die Tilgung beträgt für Elektroantrieb 0,09 *R.M.* und für Dampftrieb entsprechend dem Verhältnis der oben angegebenen Anlagekosten 0,04 *R.M.*, dann werden die Kosten für das Auswalzen mit Elektromotor 0,43 *R.M.* gegenüber 0,34 *R.M.* mit Dampftrieb. Mit Berücksichtigung der Amortisation liegen also die Kosten für das Auswalzen mit Elektromotor 26,5 % höher als mit der Dampfmaschine.

Der hochwertige Abdampf, der bei der Dampfmaschine anfällt, ist in dieser Gegenüberstellung noch nicht in Rechnung gesetzt. Verwendet man ihn in Abdampfturbinen, so wird von Turbinenherstellern angegeben, daß mit 11 kg Abdampf vorliegender Beschaffenheit 1 kWh zu erzeugen ist. Wenn die Verluste bei der Weiterleitung des Abdampfes mit etwa 65 % eingesetzt werden, so können aus dem Abdampf beim Auswalzen eines Blockes, der 100 kg/t erfordert, 5,5 kWh gewonnen werden. Die Kilowattstunde aus dem Abdampf mit 0,01 *R.M.* bewertet, wodurch unter anderem auch die Tilgung der Abdampfanlage berücksichtigt sein soll, ergibt 0,295 *R.M.* für das Auswalzen eines Blockes bei Dampftrieb, gegenüber wie oben 0,43 *R.M.* bei elektrischem Antrieb. Die Kosten bei elektrischem Antrieb liegen also mit Berücksichtigung der Tilgung 46 % höher als bei Dampftrieb mit Ausnutzung des Abdampfes in einer Abdampfturbinenanlage.

Ueber die hier mit 40 atü zum Vergleich angezogene Druckstufe liegen im Betrieb von Dampfmaschinen für Umkehrwalzwerksantriebe noch keine Erfahrungen vor, jedoch sind die Verhältnisse ähnlich wie beim Antrieb für Schachtförderungen, wo eine derartige Anlage, wie bereits erwähnt, seit Jahren mit bestem Erfolg betrieben wird.

Im Walzwerksbetrieb tauchen mit Ausführung dieser hohen Druckstufen eine Reihe von Fragen auf, die bei den früher üblichen Dampfdrücken, die bis höchstens 18 at gingen, nicht weiter beachtet zu werden brauchten. Neben Fragen der Speisewasserreinigung und Abdampferentölung bei Rückspeisung des Kondensates<sup>10)</sup>, die heute als für diese Drücke befriedigend gelöst gelten müssen, sind dies vor allen Dingen Fragen der Abdampfverwertung und der Anpassungsfähigkeit der Kessel an starke Belastungsschwankungen. Es würde keine wesentliche Verbesserung

<sup>9)</sup> Ursprünglich war der Kostenvergleich entsprechend mir von neutraler Seite gemachten Angaben auf einen Leistungsbedarf des elektrischen Antriebes von 19 kWh abgestellt.

<sup>9a)</sup> Bei dem Kostenvergleich ist zu berücksichtigen, daß die Beziehung Dampfpriß zu kWh-Preis mit 3 *R.M.* zu 0,02 *R.M.* zu ungunsten des Dampfes angenommen ist, und daß in den meisten Fällen mit einem niedrigeren Dampfpriß und höheren kWh-Preis gerechnet werden kann.

<sup>10)</sup> Arbeitsgemeinschaft deutscher Kraft- und Wärmeingenieure des VDI: Eignung von Speisewasseraufbereitungsanlagen im Dampfkesselbetrieb. Berlin 1937.

der Energiewirtschaftlichkeit bedeuten, jedoch eine Verschlechterung des betrieblichen Verhaltens der Maschine und eine Verwickeltheit der Anlage, wollte man die für Hochdruckdampf gebaute Umkehrmaschine unmittelbar auf eine Unterdruckkondensation arbeiten lassen. Die Verhältnisse liegen hier ähnlich wie im Lokomotivbetrieb, der auch in der Hauptsache auf die Verwendung einer Unterdruckkondensation verzichten muß. Der Vorschlag, den Abdampf in Abdampfturbinen weiter auszunutzen, ist nicht neu. Solche Anlagen sind bereits im Jahre 1909 von J. Puppe eingehend untersucht und beschrieben worden<sup>11)</sup>. Die wirtschaftliche Berechtigung der Abdampfturbinen war jedoch zu der Zeit umstritten.

Das damals noch niedrige Druck- und Wärmegefälle war in der Walzenzugmaschine in Verbindung mit einer Unterdruckkondensation mindestens ebenso wirtschaftlich auszunutzen. Die Abdampfturbinen arbeiteten bei diesen Anlagen in einem Bereich des Wärmegefälles, der für sie sehr ungünstig war. Infolge der geringen Drücke und Ueberhitzungen am Kessel kam der Dampf nämlich schon mit 15 % Feuchtigkeit aus der Walzenzugmaschine in den Speicher, während nach den heutigen Richtlinien im äußersten Falle 10 % Dampfnaße in der letzten Turbinenstufe zugelassen werden.

Die soeben beschriebene Umkehrdampfmaschine erlaubt es nun, hohe Dampfdrücke und Temperaturen auszunutzen und ermöglicht damit eine günstige Aufteilung des Wärmegefälles zwischen Primärmaschine und Abdampfturbine. Der Gegendruck der Primärmaschine und damit auch die Temperatur des austretenden Dampfes kann leicht so gelegt werden, daß bei Entspannung des Abdampfes in der Turbine die Endfeuchtigkeit in der letzten Turbinenstufe mit höchstens 10 % nicht überschritten wird. Mit dieser Arbeitsweise wird wärmetechnisch ein Bestwert erreicht, denn die Kolbenmaschine liegt im Gebiete des hohen Druckes, in dem sie ihren besten Wirkungsgrad hat. Die Abdampfturbine liegt im Niederdruckgebiet, wo sie das Gefälle ungleich besser als die Kolbenmaschine ausnutzt. Eine Zwischenüberhitzung des Dampfes wird bei den praktisch vorkommenden Dampfdrücken und Temperaturen nicht notwendig werden.

Bei Verwendung genügend großer Stoßkessel oder Dampfspeicher, die zwischen Turbine und Maschine eingeschaltet werden müssen, ist nicht zu bezweifeln, daß sich eine solche Anlage im Betriebe genau so gut bewähren wird wie im Fördermaschinenbetrieb schon seit Jahren. In diesem Falle wird der Betrieb der Abdampfturbine wesentlich dadurch erleichtert, daß die Dampfmaschine gegen stark wechselnden Gegendruck in der Abdampfleitung für die abgegebene Leistung verhältnismäßig unempfindlich ist, so daß man bei stoßweise anfallenden großen Dampfmen gen ruhig den Druck im Stoßkessel oder Speicher ansteigen lassen kann, ohne daß es notwendig wird, den Ueberschußdampf abzulassen.

Sollte aus irgendwelchen Gründen die Abdampfturbine nicht in Frage kommen, so wird sich eine andere Verwendungsmöglichkeit für Heizzwecke oder dergleichen finden lassen. Notfalls kann der Abdampf bei Atmosphärendruck niedergeschlagen werden, womit sich, je nach Sachlage, gewisse Wärmeverluste vermeiden lassen und Ersparnisse bei der Speisewasseraufbereitung erzielt werden.

Die Anpassungsfähigkeit der neuzeitlichen Dampfkessel an Belastungsschwankungen ist durch ihre

<sup>11)</sup> J. Puppe: Weitere Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfes an Walzwerken. Düsseldorf 1910. J. Puppe: Engineering 95 (1913) S. 614/19.



elastische Bauart und Verbesserung der Feuerungen heute so groß, daß praktisch jede Betriebsforderung erfüllt werden kann<sup>12)</sup>. Eine Erleichterung des Kesselbetriebes ergibt sich bei Hochdruck dadurch, daß infolge des großen Druckgefälles, das die Dampfmaschine verarbeitet, ein zeitweiliges Absinken des Kesseldruckes belanglos wird, da es durch eine vergrößerte Füllung der Dampfzylinder ausgeglichen werden kann. Man kann hier sogar so weit gehen, daß man zu einer Art Gleitdruckbetrieb kommt, wie er für gewisse Betriebsfälle heute im Dampfturbinenbetrieb gebräuchlich wird<sup>13)</sup>. Temperaturschwankungen des überhitzten Dampfes werden sich bei den starken und plötzlichen Belastungsänderungen des Kessels nicht ganz vermeiden lassen. Sie können aber bei geeigneter Anordnung des Ueberhitzers im Kessel über einen großen Lastbereich in sehr geringen Grenzen gehalten werden. Praktisch führen solche geringen Temperaturschwankungen zu keinem Nachteil für den Betrieb, da sie von der Kolbendampfmaschine gut vertragen werden und auf die Dichtheit der Abschlußteile, wie Ventile, Kolbenringe und Stopfbüchsen, keinen Einfluß haben.

Die Lage des Kessels kann endlich den örtlichen Verhältnissen entsprechend gewählt werden. Es ist nicht unbedingt notwendig, daß die Kessel in unmittelbarer Nähe der Maschine stehen, da die heutige Rohrleitungs- und Isoliertechnik weit genug fortgeschritten sind, so daß Betriebsstörungen oder unzulässig hohe Energieverluste ausgeschlossen erscheinen. In anderen Industrien, wie z. B. in der chemischen, muß der Dampf in oft kilometerlangen Leitungen zu seiner Verwendungsstelle geführt werden, ohne daß daraus auf die Dauer Unzutraglichkeiten entstehen.

Die Entwicklung der neuzeitlichen Industriekraftanlagen für den günstigsten Wärmeverbrauch scheint zu einem gewissen Abschluß gelangt zu sein. Jedenfalls er-

<sup>12)</sup> O. Schöne: Braunkohle 37 (1938) S. 621/40.

<sup>13)</sup> W. Stender: Siemens-Z. 17 (1937) S. 569/85.

An die Vorträge von L. Engel, M. Fischer<sup>15)</sup> und H. Bauer<sup>16)</sup> schloß sich folgende Erörterung an.

E. Howahr, Düsseldorf-Rath: Nach den gestellten Themen müßte man zunächst annehmen, daß der alte Kampf unter dem Wahlspruch „Hie Dampfmaschine — hie Elektromotor“ nun eine fröhliche Jubiläumsauferstehung feiern soll. Aber ich begrüße die Äußerung, die Herr Fischer bei seinem Vortrage gemacht hat, daß die Zeit noch nicht gekommen ist, um heute zur Erörterung zu stellen: Was ist zweckmäßiger: Dampfmaschine oder Elektromotor? Im allgemeinen ist zu sagen, daß die große Entwicklung im Walzwerksbau auf dem Gebiete der durchlaufenden Straßen, der kontinuierlichen Straße, besonders der Feinstahlstraßen ohne die Mitwirkung der Elektromotoren ganz unmöglich gewesen wäre. Aber auch auf dem Gebiete des Umkehrantriebes hat, wie Herr Fischer betonte, der Elektromotor auf der ganzen Linie gesiegt. Ob das immer gerechtfertigt war, lasse ich aber dahingestellt. Wurden in den letzten Jahren große Umkehrantriebe geplant für Neuanlagen, und stellte man an den Kunden die Frage: Dampftrieb oder elektrischer Antrieb?, so erhielt man zweifellos die Antwort: Dampftrieb kommt doch gar nicht für die neuzeitliche Anlage in Betracht. Da außerdem wohl der größte Teil der Dampfmaschinen bauenden Firmen vor der weitergehenden Entwicklung in der Elektrotechnik fast vollkommen die Segel gestrichen hatte, so war es für die Elektrizitätsfirmen und für ihre hohe Entwicklung bei deren ungeheurer Stoßkraft natürlich ein leichtes, zu beweisen, daß auch für den Umkehrtrieb der Elektromotor das einzige in Betracht kommende Mittel sei. Wenn man aber vorurteilslos beide Antriebsarten gegeneinander abwägt, so muß man sagen, daß bei einem großen Teil der Antriebe, die heute oder auch in Zukunft gebaut werden, manches für die eine oder andere Antriebsart spricht. Die Frage, nur Elektromotor, war vollkommen berechtigt in den letzten 10 bis 15 Jahren, wo die Frage der

möglichst der Höchstdruck mit 100 atü und mehr bei reinen Kondensationsanlagen nur noch bescheidene Wärmegewinne gegenüber neuzeitlichen Anlagen mit 40 bis 50 atü vor der Turbine<sup>14)</sup>. Daher bieten sich für den Dampfmaschinenantrieb von Umkehrwalzwerken, u. U. auch für durchlaufende Straßen, wieder gute Aussichten, da mit diesem eine größere Wirtschaftlichkeit gegenüber den neuesten elektrischen Anlagen zu erzielen ist. Die Vorteile, die der Hochdruck, der Schnellauf und ein zweckentsprechender, neuartiger Aufbau der Dampfmaschinen bieten, werden also geeignet sein, dieser wieder ein größeres Betätigungsfeld im Hüttenbetrieb zu eröffnen. Alle für den Aufbau dieser Maschinen erforderlichen Teile sind bereits vorhanden und in mehrjährigem Betrieb erprobt, so daß die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Maschinen auch für größte Antriebsleistungen gesichert ist.

#### Zusammenfassung.

Im Bau schnellaufender Umkehrdampfmaschinen sind in den letzten Jahren entschiedene Fortschritte erzielt worden. Auch die Anforderungen, die der Walzwerksbetrieb besonders an den Antrieb der Umkehrstraßen stellt, können durch zweckentsprechenden Aufbau dieser Maschinen, durch neuzeitliche Oelsteuerungen und Regler erfüllt werden. Bei Betrieb mit Hochdruckdampf zeichnen sich diese Anlagen durch günstige Anlagekosten, geringen Raumbedarf und gute Wirtschaftlichkeit aus. Eine besonders gute Wirtschaftlichkeit ergibt sich bei Weiterverwendung des Abdampfes für Heizzwecke, zur Stromerzeugung oder dergleichen. Der Kesselbetrieb bereitet bei Beachtung der besonderen Erfordernisse des Hochdruckdampfes heute keine Schwierigkeiten mehr. Die starken Belastungsschwankungen können durch elastische Bauart der Kessel oder andere an sich bekannte Vorkehrungen, wie Speicher oder Gleichdruckbetrieb, aufgenommen werden.

<sup>14)</sup> H. Schult: Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 109/13.

Energieerzeugung auf den Hüttenwerken, vor allem den gemischten Hüttenwerken, bestimmt wurde durch die Großgasmaschinen. Daß die Großgasmaschine die wärmetechnisch beste Maschine sei, ist bisher noch von keinem Fachmann bestritten worden. Trotzdem ist aus Gründen, die hier nicht erörtert werden sollen, in den letzten Jahren diese hochentwickelte Wärmekraftmaschine, die Großgasmaschine, immer mehr zurückgedrängt worden zunächst durch die Aufnahme der Spitzenturbine, die die Spitzenbelastung von den Gasmaschinen fernhalten soll, und ferner durch Einführung von Turbogeneratoren insgesamt.

Wenn man nun dazu übergeht, Gas zu verbrennen und Dampf zu erzeugen, dann ist die erste Aufgabe des Technikers, danach zu streben, daß die Zahl der Umwandlungsstufen von Dampf in Drehmoment an der Kurbelwelle des Walzwerkes möglichst gering ist. Daß der elektrische Antrieb dieser Forderung nicht in genügendem Maße Rechnung trägt, geht hervor aus der Tatsache: Gas, Kessel, Turbine, Generator, Leitungsnetz, Steuermotor, Steuerdynamo, Walzenzugmotor = 7 Wirkungsgrade. Berücksichtigt man alle diese Wirkungsgrade, so muß man unbedingt sagen, es ist erstrebenswert, im Sinne der Entwicklung der Technik möglichst viele dieser Wirkungsgrade auszuschalten. Diese Bestrebungen sind natürlich nicht neu und sind auch in den letzten Jahren aufgenommen worden. So sind eine Reihe von Antrieben entstanden, bei denen die Steuergeneratoren des Ilgner-Leonard-Umformers von Dampfturbinen angetrieben werden. Das gibt zwar eine Ersparnis, bringt aber noch keine vollkommene Lösung. Da die Dampfturbinen leider heute noch nicht als Umkehrmaschinen gebaut werden können, bleibt als Wärmeübertragungsmaschine, wenn schon Dampf aus dem Hochofengas erzeugt worden ist, einstweilen nur die Dampfmaschine übrig, natürlich nur für die Antriebe, wo die Dampfmaschine wirklich in Wettbewerb treten kann mit dem elektrischen Antrieb. Und das kann sie nach meiner Meinung nur bei dem Umkehrantriebe, denn bei dem durchlaufenden Antriebe scheidet sie nach meiner Ansicht aus. Wenn man nun die Bauart der neuen Dampfmaschine betrachtet, wie sie Herr Engel so

<sup>15)</sup> Vgl. S. 186/96 dieses Heftes.

<sup>16)</sup> Vgl. S. 196/201 dieses Heftes.



dankenswert geschildert hat, so muß man sagen und hoffen, daß unbedingt eine neue Zeit für den Dampfmaschinenbau entstehen wird.

Zu den einzelnen Fragen, die Herr Engel gestellt hat, möchte ich noch bemerken: Die Frage, hochgespannten Dampf in Umkehrmaschinen anzuwenden, ist auch nicht ganz neu. Auch der verdiente Dr. C. Kießelbach hat dieser Frage häufig Beachtung geschenkt. Und wenn die Frage in den früheren Jahren nicht weiter gediehen ist, so ist das hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß die Beherrschung der Drehzahl der Dampfmaschine bei den bisher bekannten Steuerungen zu große Schwierigkeiten macht. Nun sind aber durch Oeldruck betätigte Steuerungen sowie elektrische Steuerungen an Dampfmaschinen schon seit einer Reihe von Jahren bekannt, ohne daß man davon Gebrauch gemacht hat.

Es ist aber zu bedenken, daß die Beherrschung der Drehzahl ein sehr wichtiges Merkmal ist. Der Vergleich mit Fördermaschinen kann nicht in vollem Umfange herangezogen werden, denn sowohl bei der Fördermaschine als auch bei der Schiffsmaschine hat man einen verhältnismäßig langen Lauf in dem einen oder anderen Sinne. Dagegen sind bei der Walzenzugmaschine die Laufzeiten sehr kurz, die Beschleunigungen sehr hoch, und die Forderung liegt vor, die Füllung möglichst voll zu halten, um unmittelbar beim Fassen des Blockes, genau wie es der Elektromotor tut, mit möglichst vollem Drehmoment zu greifen. Das ist eine Eigenschaft, die dem Elektromotor heute noch keine andere Maschine streitig gemacht hat, denn er hat bei der Drehzahl 0 sein volles Drehmoment. Das kann man zwar mit der Dampfmaschine auch erreichen; kommt man aber über eine gewisse Füllung hinaus und arbeitet dann mit Dehnung, besteht so die Gefahr, daß die Dampfmaschine durchgeht. Bei langen Umkehrstichen bedarf es keiner Frage, daß die Aufgabe in dem Sinne, wie sie Herr Engel geschildert hat, vollkommen als gelöst zu betrachten ist. Ob das aber bei Umkehrmaschinen mit hohen Dampfdrücken für große Drehmomente und kurze Stichtzeiten der Fall ist, steht noch dahin. Ich erinnere daran, daß heute mit hohen Dampfspannungen betriebene Dampfmaschinen sowohl im Schiffbau als auch im Bergbau so gesteuert werden, daß in der Beschleunigungszeit der Dampf gedrosselt wird, so daß man mit einer Anfangsspannung, die bei 18 at liegt, die Maschine langsam anfahren kann. Und nachdem man ihr die nötige Beschleunigung gegeben hat, kann man natürlich normal fahren.

Aehnliche Ueberlegungen sind auch in der Vergangenheit angestellt worden. Mir ist eine Dampfmaschinenanlage im Auslande bekannt, wo die Kessel mit einem Druck von 35 bis 40 at arbeiten und wo man auch den vielfachen Umwandlungsverlust durch den elektrischen Antrieb vermeiden will. Zu diesem Zweck hat man eine Turbine aufgestellt, die den Dampf so weit entspannt, wie es einer sicher gesteuerten Umkehrmaschine zuträglich ist. Dann betreibt man die Dampfmaschine in der üblichen Weise. Um den Abwärmegrad besser zu halten, hat man auch bereits mit Abdampfturbinen gearbeitet.

Es ist ganz klar, ein Nachteil der Dampfmaschine wird immer bleiben, daß sie nur mit einem Spannungsfälle arbeiten kann; und es bedeutet eine ungeheure Ueberlegenheit der Dampfturbine, daß sie stets mit Wärmegefälle arbeitet; in dem niedrigen Temperatur- und Spannungsbereich wird die Turbine der Dampfmaschine als Wärmekraftmaschine immer überlegen sein. So hat man auch bei einigen Werken in Westfalen vor Jahren versucht, Abdampfturbinen einzubauen. Mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten, die sich im Betriebe ergaben, hat man sie jedoch dort wieder ausgebaut. Ich betone aber, daß im Auslande solche Maschinen zu voller Zufriedenheit arbeiten. Dadurch, daß man sie als Mischdruckturbinen betreibt, ist man von den Belastungsschwankungen der Dampfmaschine nicht mehr abhängig.

Noch einige weitere Fragen hat Herr Engel berührt. Soll man in der neuen Dampfmaschine mit einfachen oder mehrfachen Dehnungen arbeiten? Selbstverständlich wird die Maschine einfacher, solange man mit einfachen Dehnungen arbeitet. Man arbeitet mit Auspuff und setzt die Turbine dahinter. Aber bei der einfachen Dehnung wird natürlich auf dem Kolbenhub die mittlere Kolbenhubspannung geringer, damit wird die Kolbenzugkraft kleiner, das Drehmoment nimmt ab, und darauf legt man bei der Walzenzugmaschine keinen Wert. Man muß also die Dehnung groß genug bemessen, denn an und für sich kann man eine Dampfmaschine viel weiter ausnutzen. Deshalb bin ich der Ansicht: Bei der weiteren Benutzung der Dampfmaschine kommt doch die zweifache Dehnungsmaschine in Betracht. Aber ich stelle mir die Arbeitsweise so vor, daß die Hochdruckseite und die Niederdruckseite je als Drillingsmaschinen auf getrennte Kurbelwellen arbeiten, die mit verschiedenen

Drehzahlen laufen und ihre Kraft gemeinsam auf ein Getriebe abgeben, das mit dem Walzwerk gekuppelt ist. Das bedeutet eine sehr gute Energieausnutzung, weil man in dem Bereich der hohen Dampfspannungen mit größeren und im Bereich der niedrigen mit kleinen Drehzahlen arbeiten kann und auch den Vorteil des vollen Drehmomentes weitestgehend ausnützt.

Ueber die Steuerung ist zu sagen, daß die Frage in den Jahren, wo der Walzwerk-Dampfmaschinenbau geruht hat, von verschiedenen anderen Arbeitsgebieten im Dampfmaschinenbau alle möglichen Entwicklungen vorgenommen worden sind, und zwar vor allem in Richtung der Schnellläufer und dann in Richtung der Steuerung. Dabei sind die Steuerungen aufgetreten als rein hydraulische Steuerungen nach der Bauart Werkspoor Matschapy in Amsterdam oder als gemischte Steuerung nach dem Vorbild, das Herr Engel gezeigt hat.

Die weitere Möglichkeit der Verwendung von elektrischer Steuerung ist, wie gesagt, kaum ausgenutzt worden. Es ergibt sich für beide Fachkreise, die Elektrizitätsfirmen wie für den Dampfmaschinenbau, eine anregende Zusammenarbeit, nach neuen Wegen zu suchen, um den Dampf der Kessel, der aus Hochofengas erzeugt wird, auf möglichst kurzem Wege in Form von Drehmomenten an die Walzwerksachse abzugeben.

O. H. Hartmann, Kassel: Bereits auf der ersten Nachkriegshauptversammlung des Vereins deutscher Ingenieure in Kassel im Jahre 1921 und auf einer Sitzung des Walzwerksausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute im Jahre 1923 in Hagen habe ich über die Vorteile der Hochdruck-Kolbendampfmaschine für 60 atü Betriebsdruck auf Grund der Versuche von Wilhelm Schmidt und der Schmidtschen Heißdampf-Gesellschaft gesprochen. Die damals gegebenen Anregungen sind aber nicht auf fruchtbaren Boden gefallen.

Inzwischen haben sich die Elektrizitätsgesellschaften der elektrischen Antriebe der Walzenstraßen angenommen und die unmittelbaren Dampftriebe zum großen Teil ausgeschaltet.

Es freut mich, daß die Demag und Herr Engel den Mut aufbringen, gegen diese Großmächte anzukämpfen und sich für den Betrieb von Hochdruckdampf einsetzen (Heiterkeit). Ich bin der festen Ueberzeugung, daß die Vorschläge von Herrn Engel zu einem Erfolg führen können.

Der neue Vorschlag des Vortragenden, die Walzenzugmaschine mehrkurbelig auszuführen, wird in Verbindung mit den beschriebenen neuen baulichen Einzelheiten die bisherigen Dampftriebe wesentlich verbessern. Ob die Hochdruckdampf-Walzenzugmaschine die schnellen Schwankungen im Kraftverbrauch so leicht aufnehmen wird wie die elektrischen Antriebe, darüber maße ich mir kein Urteil an; aber was die Wirtschaftlichkeit anbetrifft, so ist der vorgeschlagene Weg als durchaus zweckmäßig zu bezeichnen.

Ich würde bei einem Frischdampfdruck von 40 at einen Gegendruck von 3 bis 4 atü anwenden, dann erhält eine solche Maschine bei fünf Kurbeln nur sehr kleine Zylinderabmessungen. Die Verwendungsmöglichkeit des Abdampfes für Heiz- und Kraftzwecke wird in diesem Falle noch wesentlich mehr erleichtert als bei atmosphärischem Gegendruck. Ja, man könnte sogar in der Steigerung des Gegendruckes noch bis auf 10 bis 12 atü gehen, wenn man den Frischdampfdruck auf beispielsweise 60 bis 80 atü erhöht. Die gesamte Wirtschaftlichkeit würde dann noch bedeutend höher ausfallen und sicher die des elektrischen Betriebes übertreffen.

Zu der vorgeschlagenen Ausbildung der Dampfmaschine möchte ich folgendes sagen:

Die einstufige Ausführung als Gleichstrommaschine hat eine Reihe von Vorteilen, andererseits hat sie aber den Nachteil, daß der Gestängedruck recht groß wird. Eine einstufige fünfkurbelige Maschine nach dem Vorschlag von Herrn Engel für 38 at Anfangsspannung und Auspuffbetrieb muß für einen Gestängedruck von etwa 106 t entworfen werden; er könnte nur noch herabgesetzt werden auf Kosten des Spannungsabfalles am Ende der Expansion. Eine Verbundmaschine mit Tandemanordnung würde noch gewisse wirtschaftliche Vorteile haben. Durch die Unterteilung des Druckgefälles auf zwei Zylinder würde der Gestängedruck bei gleicher Leistung und gleichen Betriebsverhältnissen nur 70 t sein. Der Gestängedruck beeinflusst die Bauart der Maschine in ausschlaggebender Weise, so daß eine Fünfkurbelverbundmaschine in der Herstellung kaum teurer wäre als die gezeigte Gleichstrommaschine.

Herr Engel schlägt als Dampftemperatur 400° vor. Ich rate 420 oder 450° zu nehmen, denn bei den langen Pausen im Walzwerksbetrieb muß man mit der Frischdampftemperatur schon recht hoch gehen, um die Temperatur der Dampfzylinder auf solcher Höhe zu halten, daß die schädlichen Wandniederschläge vermieden werden.



Als Steuervorrichtung hat Herr Engel das Ventil erwähnt und hervorgehoben, daß es bei allen Temperaturen dicht sei. Diese günstigen Erfahrungen haben wir mit dem Ventil bei unseren Versuchen mit Hochdruckdampf nicht gemacht; wir mußten schon eine besondere Ventilbauart vorsehen, auf die ich bereits im Jahre 1921 verwiesen habe, um bei allen Betriebsbedingungen dichte Einlaßventile zu haben. Ich halte das Kolbenventil für besser geeignet als ein Doppelsitzventil, denn es vereinigt die Vorzüge des Ventils mit denen des Kolbenschiebers.

Den neuen Bestrebungen auf die Einführung des Hochdruckdampfes ist bester Erfolg zu wünschen, sie wird aber nur dann möglich sein, wenn ein Hochdruckkessel zur Verfügung steht, der den im Walzwerksbetrieb vorkommenden schweren Anforderungen gewachsen ist.

Herr Engel scheint sich diese Frage zu leicht vorgestellt zu haben. Ich darf vielleicht seine Ausführungen in diesem Punkte ergänzen. Nicht jeder Hochdruckkessel kann so starke Dampfstöße vertragen, ohne daß ein Schäumen und Spucken auftritt; allerdings wird hier vorausgesetzt, daß die Kessel aus Billigkeitsrücksichten nur eine Obertrommel haben.

Betrachten wir beispielsweise einen Steilrohrkessel, der zur Vergrößerung seines Speichervermögens eine größere Untertrommel erhalten muß. Durch die bei plötzlicher Leistungserhöhung eintretende Drucksenkung tritt bekanntlich eine plötzliche Steigerung der Selbstverdampfung und ein Aufkochen des gesamten Kesselinhalts ein. Das von dem entwickelten Dampf gebildete Wasser-Dampf-Gemisch schießt in die Obertrommel und reißt aus diesem Kesselwasser nach den Ueberhitzern und in die Frischdampfleitung mit. Nun kann man ja zur Sicherheit Wasserabscheider vorsehen; aber diese Einrichtungen helfen in den seltensten Fällen. Dazu kommt, daß bei derartig kurzen plötzlichen Lastwechseln eine Störung im Wasserumlauf eintreten kann; es können dann einzelne Wasserrohrgruppen leerkochen und die Wandtemperatur kann sich auf eine Temperatur von 500° erhöhen, wobei dann Anfressungen durch Dampfspaltung und schließlich Rohrreißer auftreten können. Voraussetzung für den Betrieb ist außerdem, daß das Speisewasser immer rein, nur geringe Mengen an Salzen und möglichst kein Öl enthalten darf, sonst kommt noch die Gefahr hinzu, daß bei den üblichen Wasserrohrkesseln sich die Wasserrohre mit einer

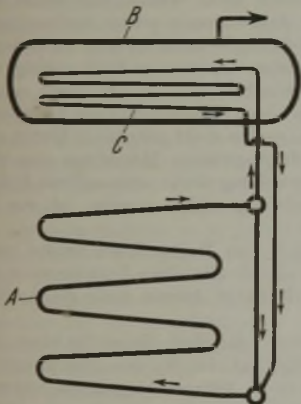


Bild 9. Schema eines Schmidt-Hochdruckkessels mit mittelbarer Beheizung.

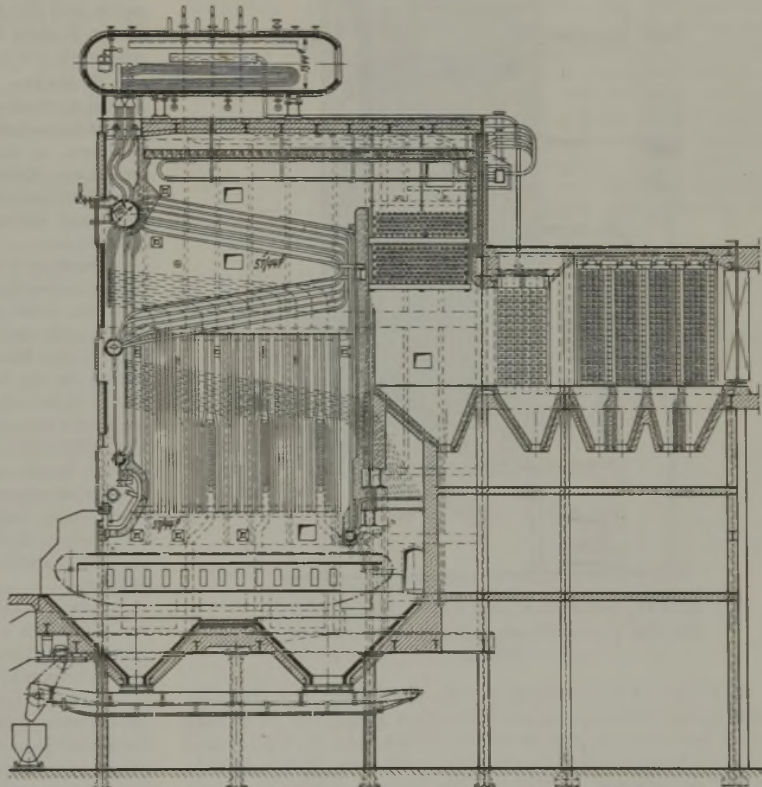


Bild 10. Schmidt-Kessel, 67 at, 70 t/h, 490°, für die Vorschaltanlage von Zechenbetrieben.

isolierenden Schicht belegen, was bei der Verwendung hoher Betriebsdrücke Rohrreißer verursachen kann, wenn man nicht besondere teure Sonderstähle mit hoher Warmfestigkeit verwendet.

Alle diese Schwierigkeiten ließen sich ausschalten, wenn man größere Speicher der Kesselanlage parallel schalten würde. Die Kosten für Hochdruckspeicher sind jedoch so groß, daß sie die ganze Wirtschaftlichkeit des Hochdruckdampfbetriebes wieder in Frage stellen.

Meines Erachtens ist für den Betrieb von Hochdruckwalzwerksmaschinen der von meiner Firma entwickelte Schmidt-Hochdruckkessel mit mittelbarer Beheizung am besten geeignet. Wie aus Bild 9 hervorgeht, besteht er aus einem Erstteil A, der stets mit demselben kesselstein- und sauerstofffreien Heizwasser gefüllt ist, und einem den Betriebsdampf abgebenden Zweitteil B, der von dem Heizdampf des Erstteils durch Heizkörper C beheizt

wird. Im ersten Teil findet für sich ein Umlauf des Heizmittels statt wie in einem gewöhnlichen Kessel, und der Heizmittelumlauf zwischen Zweitteil und Erstteil ist ebenfalls selbsttätig. Das eigentliche Betriebspeisewasser hat mit den feuerberührten Kesselteilen nichts zu tun. Öl und Kesselsteinbildner können also keine weiteren Störungen hervorrufen, als daß sich auf der dampfbeheizten Heizfläche des Zweitteils ein Belag bildet. Dieser Belag kann durch chemischen Zusatz verhindert oder leicht entfernt werden. Trotzdem nimmt bei plötzlichen Lastwechseln der gesamte Wärmeinhalt beider Kesselteile an der Wärmeabgabe teil, nur tritt bei Absenkung des Betriebsdruckes ein Fallen des Heizdruckes im Erstkessel mit geringer zeitlicher Verzögerung auf. Störungen im Wasserumlauf der beheizten Kesselteile werden daher auch bei stärksten Lastwechseln auf alle Fälle verhindert.

In der Trommel des Zweitteils treten die Dampfblasen auf der ganzen Ausdampfoberfläche der Kesseltrommel mit geringer Geschwindigkeit fein verteilt aus. Der Wassergehalt des auf diese Weise erzeugten Betriebsdampfes liegt weit unter 1/10 %.

Durch eine plötzliche stoßweise Dampfentnahme kocht nun das Kesselwasser in der Betriebskesseltrommel nur ganz wenig auf, wie an dem ruhigen Wasserstand festzustellen ist. Die Dampfblasen haben auch beim Austritt aus dem Wasserspiegel nur eine geringe Steigggeschwindigkeit. Durch alle diese Eigenschaften wird das Mitreißen von Wasser und ein Schäumen und Spucken der Kessel bei Laugenkonzentrationen bis zu 5° B<sub>e</sub> verhindert. An ausgeführten Schmidt-Schiffskesseln wurden die schärfsten Manöver durchgeführt, und dabei wurde festgestellt, daß sie solchen Anforderungen genügen. Auch auf einigen Kohlenzechen im Ruhrgebiet sind derartige Kessel für die Dampflieferung

von Fördermaschinen in Betrieb. Ich bin fest überzeugt, daß diese Kesselbauart auch die noch rascheren und kürzeren Dampfstöße im Walzwerksbetrieb ohne weiteres aufnehmen wird.

Im ganzen sind bis jetzt 58 Schmidt-Hochdruckkessel mit einer Gesamtdampferzeugung von nahezu 1900 t/h, für Betriebsdrücke von 35 bis 125 atü und Einzelleistungen von 1 bis 70 t/h für die verschiedensten Zwecke in Betrieb oder im Bau begriffen.

Von zwei von der Firma Vereinigte Kesselwerke, A.-G., Düsseldorf, ausgeführten Schmidt-Hochdruckkesselanlagen zeigt Bild 10 einen der zwei Kessel von 70 t/h Höchstdampferzeugung bei 67 atü Betriebsdruck für Fördermaschinenbetrieb und Bild 11 einen Einzugsessel für eine Höchstdampferzeugung von 65 t/h und 125 atü für ein großes chemisches Werk; davon stehen bereits acht im Betrieb und noch einige sind im Aufbau begriffen.

Ich stehe mit Herrn Engel auf dem Standpunkt, daß die Hochdruck-Walzenzugmaschine besonders in Frage kommt für



Umkehranlagen, obgleich natürlich die Verwendung für eine durchlaufende Walzenzugmaschine leichter möglich ist. Da es noch vielfach solche durchlaufenden Walzenzugmaschinen gibt, so könnte man diese durch Anbau eines Hochdruckzylinders für Hochdruckdampfbetrieb umbauen. Ein solches Vorhaben für ein belgisches Hüttenwerk ist vor etwa Jahresfrist von der Firma Sack & Kiesselbach, Düsseldorf-Rath, gemeinschaftlich mit meiner Firma ausgearbeitet worden. Hierbei wäre eine Brennstoffersparnis von 35 % ohne weiteres möglich gewesen.

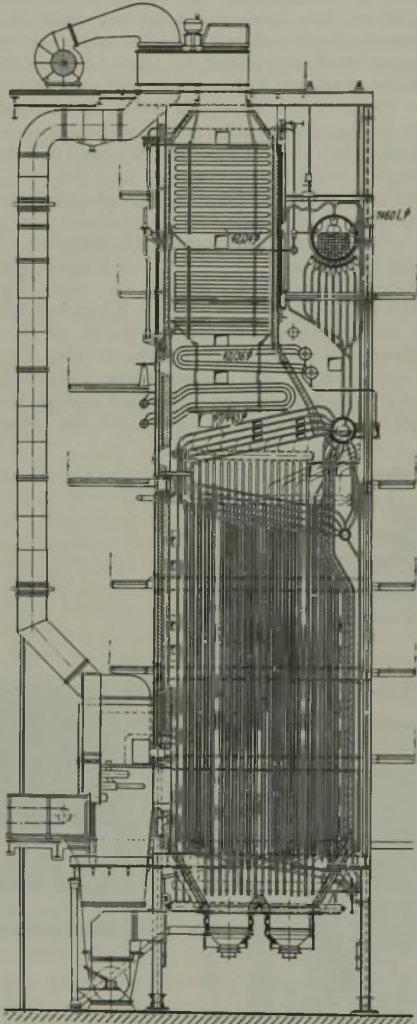


Bild 11. Schmidt-Kessel, 125 at, 65 t/h, 500°, für die Vorschaltanlage eines Industriekraftwerkes.

B. Weißenberg, Düsseldorf: Es seien einige Bemerkungen zu den beiden Punkten gestattet, die Herr Engel nur ganz kurz gestreift hat, das ist die Bereitstellung des Dampfes und die Ausnutzung des Abdampfes, weil diese beiden Punkte doch für die etwaige Einführung des Dampfbetriebes von ganz besonderer Wichtigkeit erscheinen.

Was die Bereitstellung des Betriebsdampfes betrifft, so ist die Dampfmaschine für sich etwa vergleichbar mit dem Elektromotor mit Gleichrichtersteuerung, d. h. beide Arten geben die Schwankungen des Kraftbedarfs ungedämpft weiter. Wie bei schweren Antrieben an Stelle des Gleichrichters der Schwungradumformer wegen des Ausgleichs der Stöße heute noch vorgezogen wird, wird wahrscheinlich auch bei der Dampfmaschine zwischen Dampfkessel und Dampfmaschine ein Ausgleicherschaffen werden müssen. Es ist selbstverständlich, daß Kessel mit einem größeren Wasservorrat günstiger sind, vielleicht auch solche von besonderer Bauart, wie es Herr Hartmann geschildert hat. Wenn man aber bedenkt, daß die 450-mt-Maschine von Herrn Engel in ungünstigen Fällen einen Dampfbedarf von etwa 1 t in 15 s oder über mehrere Minuten hinweg von 2 t/min hat und daß auf der anderen Seite für die Deckung des durchschnittlichen Bedarfs ein Dampfkessel mit einer Leistung von 50 t/h reichlich genügt, dann wird man zugeben müssen, daß

man solche Belastungsstöße einem Normalkessel nicht zumuten kann und daß es notwendig werden wird, einen Dampfspeicher einzuschalten. Ein sehr schönes Beispiel für einen solchen Dampfspeicher, der gerade in der fraglichen Größenordnung liegt, ist von den Wiener Elektrizitätswerken gebaut worden<sup>17)</sup>. Dampfkessel und Hochdruckspeicher werden mit 120 at betrieben. Der Dampf wird dann vom Hochdruckspeicher entspannt auf die Betriebsspannung, also etwa 40 at nach dem Beispiel von Herrn Engel, in Wien sind es 30 at. Man erreicht durch die Entspannung des Dampfes eine Ueberhitzung bei der Entnahme, wozu man weiter auch den Betriebsdampf noch ausnutzen kann, so daß diese selbst bei einer Entnahme von 2 t/min noch erhalten bleibt. Der Wiener Speicher besteht aus acht Trommeln und ist auf einer Grundfläche von 3,5 bis 11 m bei 7 m Höhe untergebracht.

Der zweite Punkt betrifft die Abdampfverwertung. Herr Engel hat vor allem wohl eine Abdampfturbine mit Stromgewinnung empfohlen. Diese betriebsfremde Anlage dürfte aber auch heute nicht viel Freunde finden, wenn man sich nicht entschließt, wie es Herr Hartmann vorgeschlagen hat, die Walzenzugmaschine eigentlich nur noch als Vorschaltmaschine auszuführen und den hohen Abdampfdruck von etwa 20 at zu fahren. Für niedrigeren Druck von 1 bis 2 at wird die Dampfspeicheranlage zu groß und unbequem. Vorteilhaft erscheint vielleicht eine Lösung, die Kesselspeisepumpe mit dem Abdampf zu betreiben, womit man ungefähr 10 % Abdampfenergie verwerten könnte. Die übrigen 90 % des Abdampfes wären wohl zweckmäßig in einem Hochdruckkondensator, der gleichzeitig als Dampfspeicher für die Kesselpumpe dienen kann, bei dem Abdampfdruck zu kondensieren und für die Speisung wieder zu gewinnen. Mit diesen einfachen Mitteln könnte man die Wärmewirtschaft immerhin überschlägig um etwa 15 % verbessern.

F. Müller, Berlin: Herr Engel hat in seinen Ausführungen bereits in dankenswerter Weise auf einen Teil der großen Vorteile des elektrischen Antriebes gegenüber dem Dampftrieb hingewiesen, so daß ich es mir ersparen kann, auf die wesentlich günstigere Erzeugungsmöglichkeit einer elektrisch angetriebenen Umkehr-Blockstraße einzugehen, die durch die einfache Steuerung und leichte Bedienbarkeit an vielen Orten unter Beweis gestellt ist.

Darüber hinaus hat aber der elektrische Antrieb noch eine Reihe wesentlicher Vorteile gegenüber dem Dampftrieb, die man bei einer derartigen Betrachtung unter keinen Umständen außer acht lassen darf. Erst durch den elektrischen Antrieb konnte der Energieverbrauch beim Walzen klar erfaßt werden. Durch die im Laufe der Jahre immer weiter verbesserten Meß- und Ueberwachungseinrichtungen kann in sehr einfacher Weise die Verformung des Walzgutes von Stich zu Stich verfolgt werden. Bei geschickter Zusammenarbeit von Walzwerkern und Elektrikern haben sich durch diese Meßerkenntnisse Güte- und Erzeugungssteigerungen von vorher nicht gekannten Maßen ergeben. Daß durch fortlaufend durchgeführte Messungen eine einfache und sichere Betriebsüberwachung sowie einwandfreie Unterlagen für die Selbstkostenberechnung erzielt werden, ist zur Genüge bekannt.

Aus den Ausführungen von Herrn Engel mußte man aber den Eindruck gewinnen, als ob alle diese Vorteile teuer erkauft werden müßten. Ich muß daher hierzu auch die Ansicht des Elektrikers schildern.

Aus der Grundrißskizze, die Herr Engel für einen 300-mt-Blockstraßenantrieb gezeigt hat, ist für den Dampftrieb eine Grundfläche von  $16 \times 20 \text{ m} = 320 \text{ m}^2$  vorgesehen, während der elektrische Antrieb mehr als das Doppelte beanspruchen soll. Tatsächlich benötigt aber ein 300-mt-Einanker-Umkehrwalzmotor nur eine Fläche von  $8 \times 10 \text{ m}^2$ , also ein Viertel der für die Dampfmaschine erforderlichen Grundfläche. Wenn aus besonderen Gründen der Ilgner-Umformer unmittelbar neben dem Walzmotor aufgestellt werden soll, ist es durchaus möglich, ihn auf  $320 \text{ m}^2$  Grundfläche unterzubringen, wie es erst kürzlich bei einem Antrieb einer schweren Straße im Ruhrgebiet ausgeführt worden ist.

Da die Erzeugungskosten einer Tonne Dampf oder einer Kilowattstunde je nach den örtlichen Verhältnissen verschieden sind, möchte ich für den Vergleich der beiden Antriebsarten lediglich den reinen Energieverbrauch heranziehen.

Herr Engel hat zum Auswalzen einer Tonne Walzgut auf achtfache Streckung einen Verbrauch von rd. 100 kg Dampf genannt. Dieser Wert ist außerordentlich niedrig und soll im wesentlichen durch die Anwendung hochgespannten Dampfes und die neue Bauform der Dampfmaschine erzielt werden. Im neu-

<sup>17)</sup> Arch. Wärmewirtsch. 19 (1938) S. 87/91.



zeitlichen Kraftwerksbau geht man heute auf noch wesentlich höhere Dampfdrücke und -temperaturen, als sie für die Kolbenmaschine zulässig sind, und hat dabei Dampfverbrauchszahlen erreicht, die es ohne weiteres gestatten, aus 100 kg Dampf mindestens 25 kWh zu erzeugen.

Nach den Ausführungen von Fischer werden bei einer gut beanspruchten, elektrisch angetriebenen Blockstraße zum Auswalzen des Walzgutes auf achtfache Streckung 14 kWh für die Tonne Walzgut einschließlich aller Verluste benötigt. Dieser Verbrauch stellt einen Mittelwert aus vorliegenden Betriebsmessungen dar, der bestimmt nicht zu niedrig ist.

Aus den erwähnten 100 kg Dampf können also bei elektrischem Antrieb der Walzenstraße neben der Energie zum Auswalzen einer Tonne Walzgut noch weitere 11 kWh zur freien Verwendung erzeugt werden. Bei einer Jahreserzeugung von rd. 1 Mill. t Walzgut, die von einer neuzeitlichen Blockstraße ohne weiteres bewältigt wird, könnten demnach aus der für den Dampfantrieb erforderlichen Dampfmenge bei elektrischem Antrieb neben der für das Walzen benötigten Energiemenge noch 11 Mill. kWh zur Abgabe für andere Zwecke erzeugt werden.

Diese große Energieersparnis zugunsten des elektrischen Antriebes ergibt sich schon, wenn man die von Herrn Engel erwähnten 100 kg Dampf der Betrachtung zugrunde legt. Diese Zahl konnte bisher nur theoretisch errechnet und noch nirgendwo unter Beweis gestellt werden, während der Energieverbrauch für die elektrischen Straßen einen Mittelwert aus zahlreichen über Jahre gehende Messungen darstellt. Sicherlich wird der Dampfverbrauch einer mit Dampf angetriebenen Blockstraße im Monatsdurchschnitt weit über 100 kg Dampf je Tonne Walzgut liegen.

Es hat daher keinen Zweck, über die Wirtschaftlichkeit der beiden Antriebsarten zu streiten, solange der Unterschied im Energieverbrauch so groß ist. Da der elektrische Antrieb von schweren Blockstraßen seit mehr als 30 Jahren in einer großen Anzahl von Anlagen seine Daseinsberechtigung bewiesen hat, ist kein Grund vorhanden, von diesem beschrifteten Weg abzugehen.

K. Baudisch, Berlin: Der Stromrichter hat sich zur Speisung und Regelung von Walzmotoren in einem weit größeren Maße eingeführt, als allgemein angenommen wird. Es liegt dies bei den in Frage kommenden Motorspannungen, vor allen Dingen an seinem hohen Wirkungsgrad und an seiner überlegenen Regelfähigkeit; vielleicht aber auch mit daran, daß man mit wenigen Gefäßtypen den ganzen in Frage kommenden Leistungsbereich beherrscht, während praktisch jeder Leonardumformer andere Kennwerte hat. Der Stromrichter hat so für durchlaufende Walzenstraßen dem Leonardumformer gegenüber außerordentlich an Boden gewonnen. Er ist eingesetzt worden zur Speisung der Motoren für Mittel- und Feinblechstraßen, zur Speisung von Rohr- und Zinkwalzwerken, von Drahtstraßen, von Kaltwalzwerken und nicht zuletzt zur Speisung von durchlaufenden Breitbandstraßen. Besonders die Versorgung dieser Breitbandstraßen bietet bemerkenswerte elektrische Regelaufgaben, die vom Stromrichter in ausgezeichneter Weise gelöst worden sind, wie von F. Winterhoff<sup>18)</sup> an dieser Stelle vor kurzem berichtet wurde. Die größte derartige Straße mit sechs Motoren zu je 2400 kW, von denen jeder durch einen Stromrichter von 4000 A, 800 V gespeist wird, hat die in sie gestellten Erwartungen vollauf erfüllt.

Wir befinden uns aber nicht mehr in der Einführungszeit der Stromrichter für Großregelantriebe, vielmehr darüber hinaus schon in der Zeit der Vereinfachung der Stromrichteranlagen und der baulichen Anpassung auf Grund der gewonnenen Erfahrung. So wird die größte Stromrichteranlage, die für Walzwerksbetriebe im Bau ist und zur Versorgung von vier kontinuierlichen Walzenstraßen dient, mit luftgekühlten Gefäßen ausgeführt werden. Sie wird aus 13 Stromrichtern von je 3500 A bestehen mit einer Gesamtleistung von über 30 000 kW. Der Übergang zur Luftkühlung bedeutet eine einschneidende Vereinfachung der Anlagen, die in Walzwerksbetrieben sehr begrüßt werden wird.

Anders liegen die Verhältnisse beim Betrieb von Umkehrstraßen mit Stromrichtern. Da es sich hier meist um Straßen mit großen Leistungen und sehr hohen Belastungsstößen handelt, sind die Netze nicht immer in der Lage, die beim Stromrichter trägheitslos anfallenden Belastungsstöße aufzunehmen. Es ist bekanntlich erstmalig gelungen, mit Hilfe der Kreuzschaltung der Stromrichter, zu der zwei Gefäße, jedes für eine Energie- richtung, erforderlich sind, eine Fördermaschine von 750/1500 kW seit etwa zwei Jahren einwandfrei zu betreiben. Auch die Messungen an dieser verhältnismäßig kleinen Fördermaschine haben die erhebliche Ueberlegenheit der Stromrichter im Wirkungsgrad Leonardumformern gegenüber bewiesen. Trotzdem konnte sich diese Schaltung der Stromrichter für Umkehrstraßen kaum durch-

setzen, da bei Umkehrantrieben kleinerer Leistung die Gestehungskosten einer Stromrichteranlage in Kreuzschaltung höher liegen als bei Leonardumformern und bei großen Leistungen meist die Rückwirkungen auf das Netz störend empfunden werden.

Eine erhebliche Vereinfachung und Verbilligung der Stromrichteranlage für Umkehrantriebe läßt sich mit der Eingefäßschaltung ermöglichen, die eine Ankerschaltung erfordert. Diese findet allerdings in stromlosen Zustand statt.

Aehnlich liegen die Verhältnisse bei Walzwerksantrieben mit schweren Schwungmassen, die betriebsmäßig in ihrer Drehzahl hinauf und herunter geregelt werden müssen. So wurde z. B. die Eingefäßschaltung bei dem Antrieb eines schweren Pilgerwalzwerkes für betriebsmäßige Drehzahlregelung mit Erfolg angewendet. Die gleiche Schaltung ist für eine Turmfördermaschine in Ausführung genommen. Diese Eingefäßschaltung wird es ermöglichen, die Stromrichter in wirtschaftlicher Weise an Stelle von Leonardumformern auch bei mittleren Antriebsleistungen noch vorzusehen. Wir sehen auch keine Schwierigkeit, sie für Umkehrantriebe größter Leistung zu verwenden, sofern die vorhandenen Netze genügend ergiebig sind, um die auch hier naturgemäß trägheitslos anfallenden Laststöße aufzunehmen. So wird es auch bei Umkehrantrieben möglich sein, die Vorherrschaft der Motorgeneratoren, die mehr als drei Jahrzehnte lang währte, durch wirtschaftlichere Regelverfahren zurückzusetzen.

L. Engel, Duisburg: Besonders danke ich für das Eintreten von Herrn Hartmann von der Schmidtschen Heißdampf-Gesellschaft in Kassel. Die Kesselfrage ist natürlich im Zusammenhang mit der Erstellung dieser Anlagen mit in- und ausländischen Herstellern ganz eingehend besprochen und durchgearbeitet worden. Die Belastungsart der Kessel ist diesen Herstellern genau an Hand gegeben worden durch sehr eingehende und genaue Dampfentnahmeuntersuchungen, die Herr Ingenieur Odlich von der „Demag“ gemacht hat und dem ich für seine mühevollen Arbeit danken möchte. Darüber können keine Zweifel bestehen, daß die Kessel sehr großen Belastungsschwankungen gewachsen sind. Die Zusicherung der Kesselfabriken bürgt dafür; das schließt aber nicht aus, daß die Kessel von der Heißdampfgesellschaft nach den Ausführungen von Herrn Hartmann für diese Zwecke besonders geeignet sein können.

Für die Anregung von Herrn Weißenberg danke ich besonders. Die ganze Frage befindet sich noch in Fluß, und die weitere Verbesserung der Wärmewirtschaftlichkeit muß noch eingehend geprüft werden. Es gibt da unendlich viele Möglichkeiten.

Ich möchte noch darauf hinweisen, daß ich mich durchaus nicht auf einen Druck von 40 at und einen Gegendruck von 1 at festlegen will. Das hat sich ganz zufällig ergeben.

Weitere Möglichkeiten sind im Gange, die wir mit den Beteiligten bearbeiten.

Zu den Ausführungen von Müller möchte ich folgendes sagen: Es ist natürlich, daß den Meßgeräten, denen der Elektromotor seine hervorragende Stellung verdankt, von uns sehr eingehend Aufmerksamkeit geschenkt wird, und es ist durchaus nicht ausgeschlossen, daß eines Tages das Gerät da ist, das das Drehmoment mißt und dem Maschinenisten, der die Maschine bedient, Winke und Hinweise für die Einstellung der Walzen gibt.

Ueber das Raumbild, das beanstandet worden ist, kann ich nur sagen, daß es sich um eine ausgeführte Anlage bei der gegenübergestellten elektrischen Einrichtung handelt, die noch dazu in durchaus erreichbarer Nähe zur Besichtigung dasteht.

Bei der Kostenfrage muß man irgendwo einen Ausgangspunkt haben, und dieser Punkt ist meines Erachtens gegeben bei dem Preise der Energie. Die wärmetechnischen Erfolge, die die Turbine in letzter Zeit gehabt hat, sind ungeheuer. Herr Fischer hat darauf hingewiesen, daß heute ein Wärmeverbrauch für die Kilowattstunde von 3000 Wärmeeinheiten verwirklicht wird, und zwar mit Anlagen, die mit Dampf von ungefähr 150 at und 500° arbeiten. Diese Erfolge sind ganz ausgezeichnet, nur muß ich sagen, die gute alte Großgasmaschine hat vor 15 Jahren mit Abbitzerverwertung schon einen 10prozentig besseren Wärmeverbrauch gehabt, nämlich 2700 Wärmeeinheiten je kWh. Es ist aber nicht möglich gewesen, den Preis für die Energie zu senken. Das Preisverhältnis Dampf zu Strom beträgt nach Untersuchungen aus den Jahren 1937 und 1938 in einem der größten Hüttenwerke rd. 2,20 bis 2,50  $\frac{\text{RM}}{\text{t}}$  Dampf gegenüber 2,5 bis 2,7 Pf. für die Kilowattstunde bei Erzeugung aus Dampf und 2,1 bis 2,3 Pf. bei Erzeugung aus Gichtgas mit Spitzendeckung durch Dampf.

Ich habe in meiner wirtschaftlichen Aufstellung als Verhältnis 3  $\frac{\text{RM}}$  für die Tonne Dampf angenommen, gegenüber 2 Pf. für die Kilowattstunde. Ich glaube nicht, daß ich zuungunsten des Elektromotors gerechnet habe, wie es uns auch fernliegt, irgendwie einen Gesamtanspruch zu erheben und nun zu fordern, alle Antriebsmaschinen mit Dampf zu betreiben.

<sup>18)</sup> Stahl u. Eisen 58 (1938) S. 1225/38.



## Aus der Entwicklung der elektrischen Walzwerksantriebe.

Von Max Fischer in Neunkirchen (Saar).

[Bericht Nr. 78 des Maschinenausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute<sup>1</sup>].

*(Geschichtliche Entwicklung der elektrischen Walzwerksantriebe. Einfluß der Schwungräder auf die Bemessung der Antriebsleistung für eine dreigerüstige Platinenstraße. Elektrische Bremse für schwere Schwungradantriebe. Steuerung der Iglersätze. Kraftverbrauch bei Dampf- und elektrischem Antrieb der Walzwerke. Drehzahlregelungsarten bei durchlaufenden Walzwerksmotoren. Gleichstrommotoren in Verbindung mit Gleichrichtern für Antriebe mit großem Regelbereich. Kontinuierliche Straßen mit gemeinsamem und Einzelantrieb. Schlingenlänge und Walzgeschwindigkeit. Drehzahlkennlinien und Pendelerscheinungen der Motoren. Gleichlaufsteuerung mit Spannungs- und Feldregelung. Mittelbare und unmittelbare Gleichlaufschaltung durch Drehzahlgeber oder elektrisches Differential. Die Folgeschaltung der Siemens-Schuckert-Werke.)*

Vor 35 Jahren hatte C. Köttgen auf der Hauptversammlung des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute über den elektrischen Antrieb von Walzwerken berichtet<sup>2</sup>). Der Elektromotor hatte damals für Walzwerksantriebe noch kaum Eingang gefunden, und über ausgeführte Anlagen konnten nur sehr wenig Betriebserfahrungen vorliegen. Trotzdem hat Köttgen damals schon die Betriebsbedingungen, die von den Antriebsmotoren durchlaufender oder umkehrbarer Straßen zu erfüllen sind, klar umrissen und an Hand der wenigen fertigen oder gerade geplanten Anlagen gezeigt, wie die Frage des elektrischen Antriebes für die damals allgemein übliche offene Bauart der Straßen gelöst wurde. Am Schluß seiner Ausführungen brachte er einen Energiekostenvergleich zwischen einer mit Dampfmaschine und einer mit Motor angetriebenen Umkehrstraße und setzte sich nachdrücklich für den elektrischen Antrieb mit Iglersatz ein.

Während sich der Elektromotor für den Antrieb durchlaufender Straßen sehr rasch und fast mühelos gegen die Dampfmaschine und den Gasmotor durchsetzte, standen seiner Verwendung bei Umkehrantrieben lange Zeit Bedenken, teils technischer, hauptsächlich jedoch wirtschaftlicher Art, entgegen. Erst im Jahre 1906 wurde auf der Hildegardhütte in Trzynietz der erste Iglersatz für einen Umkehrmotor von 78 mt Abschaltleistung in Betrieb genommen<sup>3</sup>), dem dann die Anlagen in Rombach, Hüsten, auf der Georgsmarienhütte und in Duisburg-Meiderich folgten.

Sehr bald erwies sich auch bei Umkehrantrieben der elektrische Antrieb mit Iglern dem Dampfantrieb überlegen, so daß auch bei Umkehrstraßen nur in den seltensten Fällen bei Neuanlagen noch Dampfantrieb gewählt wurde.

Nachdem die Entwicklung der Walzwerkstechnik seit den damaligen Ausführungen von Köttgen an die Antriebe immer neue Forderungen stellte und umgekehrt die Fortschritte im Bau von Motoren und die Verwendung neuer Steuerungen und Schaltungen dem Walzwerker und Walzwerkskonstrukteur größere Freiheit und Beweglichkeit im Walzplan und in der baulichen Anlage der Straßen gegeben hatte, erscheint es angebracht, einen Rückblick auf die bisherige und einen Ausblick auf die weitere Entwicklung der elektrischen Antriebe von Walzwerken zu geben.

Gekennzeichnet ist die bisherige Entwicklung in der Hauptsache durch die Steigerung der Antriebsleistung, die durch größere Anstichquerschnitte, höhere Walzgeschwindigkeiten und Stundenleistungen begründet wurde; durch die Vervollkommnung der Iglersätze, die gegen die ersten Ausführungen der Jahre 1906 bis 1910 eine ganz erhebliche Gewichts- und Raumersparnis brachte und eine beträcht-

liche Verkürzung der Anlauf- und Umsteuerzeit ergab; durch den Bau von Regelsätzen und Drehstrom-Kollektormotoren, die den Nachteil der starren Drehzahl von Drehstrommotoren beseitigten und den Walzwerker in die Lage versetzten, die Straße für einen umfangreichen Walzplan zu verwenden; durch die Verwendung von Gleichstrommotoren mit ihrer großen Regelfähigkeit und die Ausbildung von Gleichlaufschaltungen, die den Bau kontinuierlicher Straßen mit Einzelantrieb der Gerüste erst ermöglichten und in den letzten Jahren durch die Einführung gittergesteuerter Gleichrichter, die gegenüber den umlaufenden Umformern einen wesentlich höheren Wirkungsgrad haben und durch eine praktisch trägheitslose Steuerung den erstgenannten in der Regelgeschwindigkeit weit überlegen sind.

Technisch am einfachsten sind immer noch die Antriebe der offenen Straßen. Die Entwicklung zu großen Maschinenleistungen erfolgte im Rahmen des allgemeinen Elektromaschinenbaues. Die Erkenntnisse, die hier auf dem Gebiete der Werkstoffauswahl, der Abführung der Verlustwärme oder der Wickeltechnik gemacht wurden, übertrug man sinngemäß auch auf die Walzenzugmotoren mit dem Erfolg, daß die Eisen- und Kupfergewichte — bezogen auf die Drehmomenteneinheit — ganz erheblich gesenkt werden konnten.

Die Fortschritte im Bau schwerer Walzwerksgetriebe führten immer mehr dazu, auf schnelllaufende Motoren überzugehen, die unter Zwischenschaltung pfeilverzahnter Getriebe mit dem Kammwalzengerüst gekuppelt werden. Auch bei Fertigstrecken erweist sich diese Lösung wirtschaftlich meist günstiger als die Verwendung von unmittelbar gekuppelten Langsamläufern.

Maßgebend für die Bemessung der Antriebsmotoren sind bekanntlich das Spitzendrehmoment und das Effektivmoment, das ist der quadratische Mittelwert aus den bei den einzelnen Stichen vom Motor abzugebenden Drehmomenten und dem Leerlaufmoment. Um unliebsame Störungen durch plötzliches Abschalten der Motoren zu vermeiden, muß das aufzubringende größte Moment bei Drehstrommotoren unter dem Kippmoment, bei Gleichstrommotoren unter dem durch die Kommutierung beschränkten Höchstmoment liegen. Das Effektivmoment darf mit Rücksicht auf die Erwärmung der Maschine ihr Nennmoment nicht überschreiten, da sonst die Isolation der Wicklung vorzeitig zerstört wird.

So einfach diese Forderungen klingen, so schwierig sind sie, wie man aus Erfahrungen mit unzureichend bemessenen Walzenzugmotoren weiß, zu erfüllen. Die Schwierigkeiten sind zu beheben, wenn bei der Planung Walzplan, Stichfolge und Kalibrierung bekannt sind. Die Ueberlastungsfähigkeit von Walzenzugmotoren beträgt nach den REM., den vom Verband Deutscher Elektrotechniker festgelegten Regeln für die Bewertung elektrischer Maschinen, 100%. Um die Motoren voll ausnutzen zu können, ist daher anzustreben, das vom Motor abzugebende Höchstmoment

<sup>1</sup>) Vorgetragen in der Gemeinschaftssitzung des Walzwerks- und Maschinenausschusses am 4. November 1938 in Düsseldorf. — Sonderdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

<sup>2</sup>) Stahl u. Eisen 24 (1904) S. 209/37, 403 u. 520.

<sup>3</sup>) Stahl u. Eisen 27 (1907) S. 121/26 u. 162/66.



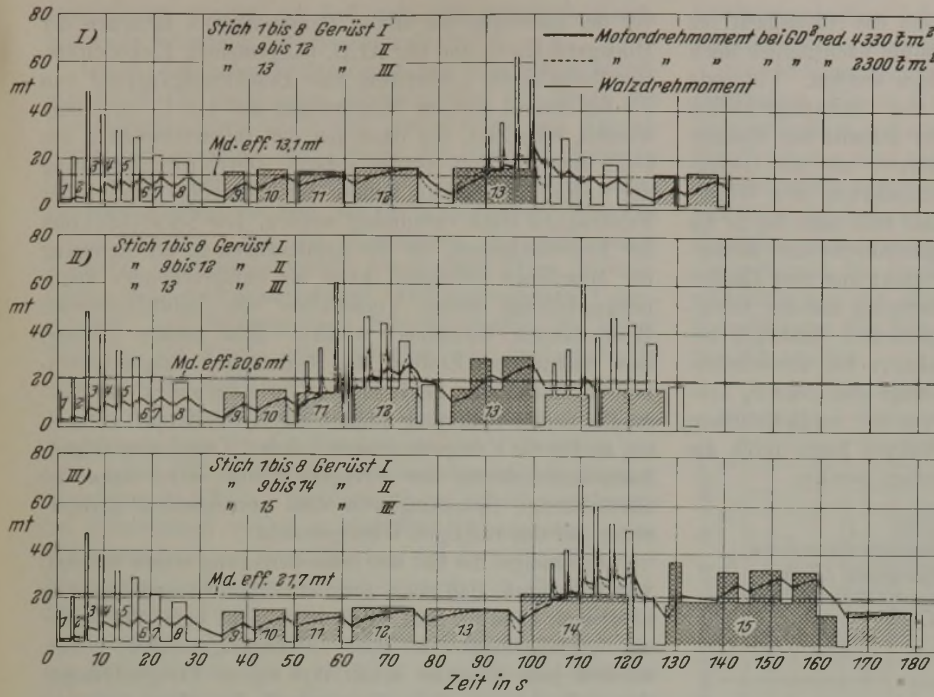


Bild 1. Drehmomente beim Auswalzen von Platinen auf einer 750er Trio-Platinenstraße.   
 Schaubild I: Auswalzen eines 0,75-t-Blockes in 13 Stichen zu Platinen. Anfangsquerschnitt 1340 · 320 · 265 mm;   
 Endquerschnitt 57 800 · 320 · 5,2 mm; Erzeugung 30 t/h (mit Ueberlagerung); Blockfolge 90 s.   
 Schaubild II: Errechnete größte Erzeugungsmöglichkeit beim Auswalzen eines 0,75-t-Blockes mit Anfangs- und   
 Endquerschnitt wie unter Schaubild I. Errechnete Erzeugung 52 t/h (mit Ueberlagerung); Blockfolge 52 s.   
 Schaubild III: Auswalzen eines 0,75-t-Blockes in 15 Stichen zu Platinen. Anfangsquerschnitt 1340 · 320 · 265 mm;   
 Endquerschnitt 101 000 · 320 · 3 mm; Erzeugung 26 t/h (mit Ueberlagerung); Blockfolge 104 s.

auf den doppelten Wert des Nenndrehmomentes zu beschränken und den Unterschied zwischen dem Walzdrehmoment und dem Motorspitzenmoment aus den Schwungmassen zu decken.

Das Drehmomentenschaubild einer dreigerüstigen Dreiwalzenplatinenstraße (Bild 1) zeigt den Einfluß verschieden schwerer Schwungmassen auf die Spitzenbelastung des Motors. Die Walzdrehmomente wurden an Hand von vergleichenden Kraftbedarfsmessungen an einer ähnlichen Platinenstraße ermittelt. Den Schaubildern I und II ist eine Kalibrierung zugrunde gelegt, mit der Platinen 320 × 5,2 mm aus einem Block mit einem mittleren Anstichquerschnitt 320 × 265 mm in 13 gegen früher 17 Stichen ausgewalzt werden können. Das Schaubild III ist aufgestellt für das Auswalzen von 3 mm starken Platinen. Für die Bemessung des Antriebes wurde absichtlich mit sehr großen Abnahmen gerechnet, um in dem Antrieb noch einen gewissen Kraftvorrat zu haben; gewalzt wird zur Zeit in 15 Stichen und Abnahmen bis zu 32 %.

Aehnliche Straßen wurden früher mit einem Schwungmoment von etwa 2300 tm<sup>2</sup> — bezogen auf die Drehzahl der Kammwalze — gebaut. Bei diesem GD<sup>2</sup> ergibt sich nach der gestrichelten Kurve ein höchstes Motormoment von rd. 40 mt, wenn auf dem letzten Gerüst der Stich 13 und gleichzeitig im ersten Gerüst der Stich 3 gewalzt werden. Bei 30 t Stundenleistung beträgt das Effektivmoment 13,1 mt, das Spitzenmoment liegt also reichlich dreimal so hoch wie das Effektivmoment.

Durch die Wahl größerer Schwungscheiben mit einem GD<sup>2</sup> von 4330 tm<sup>2</sup> — bezogen auf die Drehzahl der Straße — bzw. 65 tm<sup>2</sup> — bezogen auf die schnelllaufende Ritzelwelle — von 730 U/m, konnte nach der ausgezogenen Kurve das Spitzenmoment des Motors auf 24,2 mt beschränkt werden. Es tritt jetzt nicht mehr bei der Ueberlagerung von Stich 3 und 13 auf, sondern beim gleichzeitigen Walzen von Stich 4 und 13, obwohl hier das Stichmoment schon wieder ab-

genommen hat. Die Walzpause zwischen dem dritten und vierten Stich ist so gering, daß die schweren Schwungräder bei der Vorbelastung des Motors durch Stich 13 nicht wieder voll aufgeladen werden können. Noch deutlicher zeigt das Schaubild III für das Auswalzen von Platinen von 3 mm Stärke, daß eine weitere Erhöhung des GD<sup>2</sup> zwecklos wäre. Die Motorbelastung steigt hier bei vier aufeinanderfolgenden Stichen an, obwohl die Stichmomente abnehmen.

Der Einfluß der Schwungräder auf die Zentrale läßt sich besser beurteilen, wenn an Stelle der Drehmomente die entsprechenden Leistungsangaben gemacht werden. Die höchste Stichleistung ohne Schwungradpufferung beträgt 4700 kW beim Walzen von 5,2 mm starken Platinen und 5200 kW bei 3 mm starken Platinen. Mit der Schwungscheibe von 2300 tm<sup>2</sup> gehen die Spitzenleistungen auf 3000 kW und 3600 kW zurück. Bei den großen Schwung-

massen liegen die höchsten Belastungen bei 1820 kW bzw. 2480 kW.

Die Anordnung der Schwungscheiben auf der Ritzelwelle setzte eine besonders kräftige Bauart des Getriebes voraus;

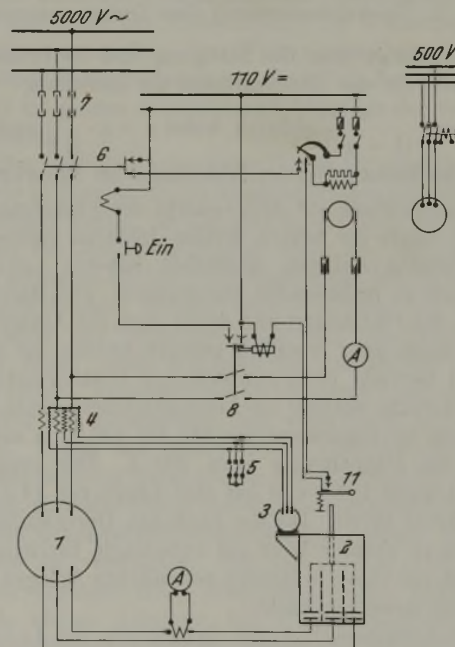


Bild 2. Schaltbild für das Abbremsen des Motors.

- 1 = Walzenzugmotor
- 2 = Anlasser
- 3 = Schlupfregler
- 4 = Schlupfregler-Umspanner
- 5 = Schalter zum Kurzschließen des Schlupfregler-Umspanners
- 6 = Leistungsschalter
- 7 = Trennschalter
- 8 = Schütz für die Gleichstromerregung.

außerdem mußte durch den Einbau einer Bibbykupplung mit Brechholzen Vorsorge getroffen werden, daß das Getriebe nicht zerstört wird, wenn der Antrieb durch Einflüsse von der Straße her plötzlich abgebremst werden sollte.



Da bei den hohen Schwungmassen die Auslaufzeit für die Straße 12 bis 15 min beträgt, mußte nachträglich noch eine Bremsenrichtung vorgesehen werden. Um jede zusätzliche Wärmebeanspruchung der Schwungscheiben zu vermeiden, wird zum Bremsen der Ständer des Walzenzugmotors von einem kleinen Umformer aus mit Gleichstrom erregt (Bild 2). Durch Veränderung des Widerstandes im Läuferkreis des Motors läßt sich dabei bis in die Nähe der Drehzahl Null ein fast gleichbleibendes Bremsmoment erzielen, das durch das Produkt aus dem Läuferstrom und dem aus der Gleichstromerregung und der Ankerückwirkung sich ergebenden magnetischen Kraftfluß bestimmt ist. Die errechnete Bremskurve bei unverändertem Widerstand im Läuferkreis zeigt das Bild 3, Teilbild I, die tatsächlichen Bremskurven bei veränderlichem Widerstand das Teilbild II. Der Antrieb kann durch die Gleichstrombremsung in 46 s stillgelegt werden.

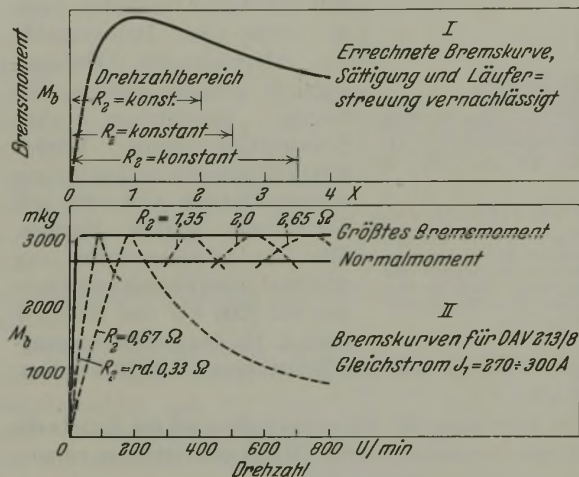


Bild 3. Gleichstrombremsung eines Drehstrommotors.

Vernachlässigt man die Sättigung und Rotorstreuung, so läßt sich für das Bremsmoment die Beziehung

$$M_b = \text{Const.} \frac{x}{(1+x^2)}$$

ableiten, wobei  $x = c \cdot \frac{s}{R_2}$  und  $s$  der Schlupf des Motors,  $R_2$  der Widerstand im Rotorkreis ist.

Die Entwicklung auf dem Gebiete der Umkehrantriebe führte im Laufe der letzten dreißig Jahre zu vollkommen betriebssicheren Anlagen, wesentlich höheren Leistungen und einfach zu bedienenden Steuerungen. Die Maschinengewichte, der Platzbedarf und damit auch die Anlagekosten konnten dabei ganz erheblich gesenkt werden; so beträgt z. B. das Gewicht eines neuzeitlichen Umkehrmotors für eine Blockstraße mit 350 mt Abschaltmoment heute in der Ausführung als Einankermotor 185 bis 190 t, in der Ausführung als Doppelmotor etwa 220 t. Der zugehörige Iglersatz wiegt 150 t und hat eine Länge von 14,2 m bei 6,3 m größter Breite. Bei der baulichen Durchbildung der Maschinen ist größter Wert auf unbedingte Betriebssicherheit gelegt, die vielen in Betrieb befindlichen Anlagen haben hierfür den Beweis erbracht.

Schaltungstechnisch wurde das Prinzip der Leonardsteuerung beibehalten, es wurden jedoch eine ganze Reihe von Verbesserungen getroffen, mit dem Ziel, die Anlauf- und Umsteuerzeiten zu verkürzen und dem Maschinisten ein einfach zu bedienendes Steuergerät in die Hand zu geben.

Die Anlauf- und Umsteuerzeiten sind beim elektrischen Antrieb größer als beim Dampftrieb, da größere Schwungmassen zu beschleunigen sind und die Trägheit der magnetischen Felder die Steuerfähigkeit der Maschinen verschlechtert. Mit Rücksicht auf diese Schwierigkeiten war

vor der Lieferung des ersten Iglernantriebes zwischen der Hildegard-Hütte und der AEG. (Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft) als Lieferfirma eine Beschleunigungszeit von 4 s für Anlauf aus der Ruhestellung auf 110 U vereinbart worden, eine Zeit, die dann bei der Inbetriebsetzung um  $1\frac{1}{2}$  s unterschritten werden konnte. Durch die Einführung der Schnellerregung konnte der nachteilige Einfluß der Feldträgheit stark vermindert werden. Die Selbstinduktion der Feldwicklungen, die die Änderungen in der Erregung der Maschinen verzögert, kann bei entsprechender Spannungserhöhung durch Vorschalten von induktionsfreien Widerständen verkleinert werden. Eine andere Lösung, den nachteiligen Einfluß der Feldträgheit auszuschalten, besteht darin, der Feldwicklung im Augenblick des Einschaltens eine Spannung aufzudrücken, die doppelt so hoch ist, als für die Erregung erforderlich ist. Durch eine Gegenkompoundwicklung der Erregermaschine wird dann die überschüssige Spannung von dem ansteigenden Erregerstrom auf den richtigen Wert gebracht.

Die Erfolge, die mit der Schnellerregung erzielt wurden, waren so groß, daß man zur indirekten Erregersteuerung übergehen konnte. Man regelt jetzt nicht mehr die Felder der Anlaufgeneratoren oder Walzenzugmotoren selbst, sondern jede Maschine erhält ihre eigene Erregerdynamo, deren Feldstärke vom Steuerstand der Maschinen aus verändert wird. Der Steuerschalter kann dabei als einfacher Hebelsteuerschalter mit sehr wenig Stufen ausgeführt werden, er hat nur mehr kleine Ströme zu schalten; die früher üblichen direkten Erregersteuerungen mit Schützen und verhältnismäßig großen Erregerwiderständen konnten wegfallen.

Bei einem Blockstraßenantrieb von 240 mt Abschaltmoment konnte nach oszillographischen Aufnahmen die Straße in 3 s von 95 U in der einen Richtung auf 95 U in der anderen Richtung umgekehrt werden. Die mit dem elektrischen Antrieb erreichten Umsteuerzeiten haben sich als vollkommen ausreichend erwiesen, der Block selbst muß ja während dieser Zeit auf dem Rollgang abgebremst und in der Richtung zur Walze hin wieder beschleunigt werden. Die Zeiten für die Beförderung des Blockes auf dem Rollgang sind durch die Reibkraft zwischen Block und Rolle gegeben und können je nach der Größe des Reibungsbeiwertes ein bestimmtes Maß nicht unterschreiten.



Bild 4. Leistungsaufnahme des Antriebsmotors eines Iglernantriebes für Blockstraße, ohne und mit selbsttätiger Schlupfregelung.

Im Zusammenhang mit den Steuerungen der Iglersätze seien noch erwähnt die indirekte Kompoundierung der Walzenzugmotoren und die Einrichtungen, die den Spannungsabfall der Steuermaschinen bei einem Drehzahlabfall des Iglers ausgleichen; ferner die selbsttätige Schlupfregelung des Steuermotors. Das Schaubild auf Bild 4 zeigt, in welcher vollkommener Weise mit einem öbetätigten Hilfsmotor am Anlasser des Drehstrommotors die Belastungsspitzen des Walzwerkes von dem Schwungrad des Iglers



ausgeglichen werden, so daß sich eine praktisch gleichbleibende Belastung für die Zentrale ergibt.

Durch die neue Entwicklung von Hochdruckdampfmaschinen für überhitzten Dampf<sup>4)</sup> wird die Frage des Energieverbrauches bei Dampf- und elektrischem Antrieb wieder aufgeworfen. Der Umweg der Energieumformung beim elektrischen Antrieb erscheint auf den ersten Blick unwirtschaftlicher zu sein als der unmittelbare Weg des Dampftriebes. Bei der Einführung des elektrischen Antriebes für Umkehrantriebe wurde diese Frage in Fachkreisen sehr eingehend erörtert. Die theoretischen Überlegungen und Berechnungen führten damals zu keiner Einigung, die Praxis entschied aber sehr bald eindeutig zugunsten des elektrischen Antriebes.

Nach Untersuchungen des Oberschlesischen Ueberwachungsvereins an der Blockstraße der Julienhütte aus dem Jahre 1912 betrug der Arbeitsverbrauch bei 15facher Streckung 20 kWh/t. Turbinenanlagen erforderten damals bei Frischdampf von 8 at und 300° Ueberhitzung einen Wärmeaufwand von etwa 6500 kcal für die kWh, die Tonne Walzgut also insgesamt einen Verbrauch von 130 000 kcal. Nach neueren Veröffentlichungen der Wärmestelle Düsseldorf liegt der Dampfverbrauch einer Umkehrmaschine für ein Blockwerk bei 8 bis 10 at Frischdampfdruck und 15facher Streckung im Mittel bei 200 kg/t. Nimmt man 200° Dampftemperatur und 75 % Kesselwirkungsgrad an, so ergibt sich für die damaligen Verhältnisse beim elektrischen Antrieb eine Wärmeersparnis von rd. 25 %. Durch den Uebergang auf höhere Drücke und Temperaturen bei neuzeitlichen Turbinenanlagen verschob sich das Verhältnis immer mehr zuungunsten der Dampfmaschine, so daß man bisher mindestens mit dem doppelten Wärmeaufwand beim Dampftrieb rechnen mußte.

Die neuzeitliche Hochdruckdampfmaschine wird zweifelsohne sehr viel von dem Vorsprung wieder aufholen, den der elektrische Antrieb zur Zeit hat. Da jedoch noch keineswegs feststeht, wie sich der Wärmeverbrauch je t Walzgut bei dem Umkehrtrieb mit Walzpausen von 60 bis 65 % der Gesamtbetriebszeit stellen wird, erscheint es heute verfrüht, die Erörterung der Jahre 1905 bis 1910 hierüber wieder zu beginnen. Der Kraftverbrauch der elektrisch angetriebenen Straßen kann einwandfrei gemessen werden. Das Bild 5 zeigt die durch Versuch ermittelte Stundenleistung (Kurve 1) und den kWh-Verbrauch (Kurve 2) einer 1150er Blockstraße in Abhängigkeit der Verlängerung. Die Kurven 3, 4 und 5 stellen die reine Walzarbeit nach Messungen von J. Puppe<sup>5)</sup> dar, und zwar Kurve 3 für weichen, Kurve 4 für halbharten und Kurve 5 für harten Werkstoff. Die Angaben nach 6, 7, 8 zeigen Werte, die an Blockstraßen durch Messungen über längere Zeiträume im Betrieb ermittelt wurden. Die Messungen nach 6 stammen von einer gut ausgenutzten Straße, während sich die Werte der Angabe 7 auf eine Straße beziehen, die mit verhältnismäßig geringer Stundenleistung betrieben wird. Der eingekreiste Punkt gibt Messungen auf einer vierten Blockstraße wieder. Der Stromverbrauch ist an den Klemmen des Ilgner-Steuermotors gemessen, enthält also sämtliche Umformerverluste, außerdem auch noch den Stromverbrauch der Erregung und Kühlung. Für die Zentrale bedeutet ein Ilgner, wie sich aus dem Schaubild Bild 4 ergab, eine ziemlich gleichbleibende Belastung. Da die Dampfverbrauchskurven der Turbinen ziemlich flach verlaufen, bedingt der Ausfall eines Ilgners mit 2000 bis 2200 kW

<sup>4)</sup> Stahl u. Eisen 59 (1939) S. 173/85.

<sup>5)</sup> Versuche zur Ermittlung des Kraftbedarfs an Walzwerken. Düsseldorf 1909. S. 149/51.

Leistungsaufnahme bei den üblichen Turbinengrößen keine merkliche Steigerung des Dampfverbrauches.

Die Erörterungsgrundlage hat sich gegen früher etwas verschoben. Für die Kolbenmaschine wird heute mit einem Druck von 40 at und einer Ueberhitzung von 400° gerechnet. Die Maschinen sind nicht für Kondensations-, sondern für Auspuffbetrieb vorgesehen. Die Entwicklung im Turbinenbau ist in der Zwischenzeit bis zu Drücken von 160 at und Frischdampftemperaturen von 550° weitergegangen. Bei Anzapfbetrieb für Speisewasservorwärmung und unter Berücksichtigung der günstigen Wirkungsgrade neuzeitlicher Kesselanlagen läßt sich ein Wärmeverbrauch von 3000 kcal je kWh erzielen.

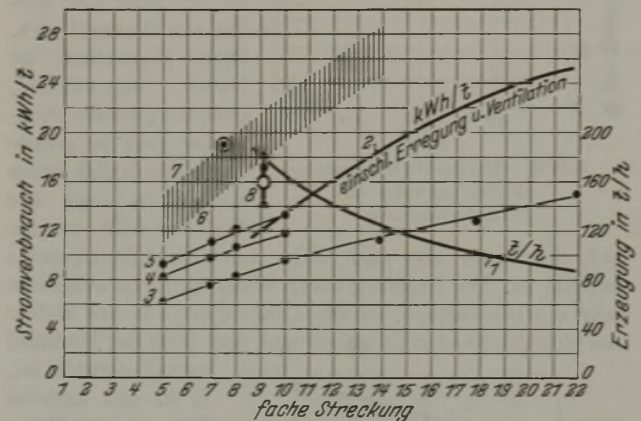


Bild 5. Erzeugung und Stromverbrauch von Blockstraßen.

Der Stromverbrauch der Umkehrantriebe kann noch um etwa 15 % gesenkt werden, wenn an Stelle von Ilgner-Umformern Stromrichter verwendet werden. Bei entsprechender Ausbildung der Steuerung kann der Gleichrichter auch zur Umformung von Gleichstrom in Drehstrom und damit zur Nutzbremmung der Walzenzugmotoren herangezogen werden. Der Wirkungsgrad von Stromrichtern bleibt bis zu Teillasten von etwa 25 % fast unverändert; er liegt im ganzen Arbeitsbereich höher als der von Ilgner-Umformern.

Bisher sind noch keine Stromrichter für schwere Umkehrantriebe in Betrieb, da der Umkehrstromrichter Belastungsverhältnisse ergibt, die für eine gewöhnliche Hüttenwerkzentrale zur Zeit nicht tragbar sind. Die Belastungsstöße des Walzwerks, die bei einer Blockstraße bis zu 16 000 kW ansteigen können, werden ohne Pufferung auf das Netz übertragen; der Umkehrvorgang ruft Blindleistungsstöße hervor, deren Größe sich nach den geforderten Umsteuerzeiten richtet; außerdem treten Oberwellen auf, die für die Wicklung der Generatoren eine zusätzliche Belastung bedeuten. Durch den immer weiter voranschreitenden Zusammenschluß der Netze und die Vergrößerung der Zentralenleistung ist in absehbarer Zeit vielleicht auch die Möglichkeit gegeben, den Umkehrstromrichter für schwere Walzwerksantriebe zu verwenden. Die technischen Aufgaben des Umkehrvorganges selbst sind schon gelöst. Ein Umkehrantrieb kleiner Leistung für Walzwerksantrieb ist seit drei Vierteljahren in Betrieb; außerdem läuft eine Anlage seit etwa zwei Jahren an einer Schachtfördermaschine.

Bei der Vielzahl der Walzprofile wird man nur in den seltensten Fällen in der Lage sein, eine Straße nur für einige wenige Profile zu bauen, die mit der gleichen Geschwindigkeit gewalzt werden können. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit müssen die Anlagen für einen vielseitigen Walzplan vorgesehen werden, wofür regelbare Antriebe erforderlich sind.



Der übliche Drehstrom-Asynchronmotor ist dieser Forderung nicht ohne weiteres gewachsen. Bekanntlich läßt sich die Drehzahl des Motors durch Vorschalten von Widerständen im Läuferkreis im untersynchronen Gebiet regeln, sein Nebenschlußcharakter geht jedoch dabei verloren (Bild 6), d. h. die Drehzahl wird lastabhängig, und zwar

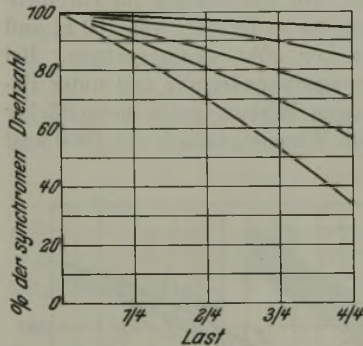


Bild 6. Drehzahl-Drehmoment. Schleifringmotor mit Läuferregelung.

um so stärker, je größer der Regelbereich wird. Bei Leerlauf der Straße läuft der Motor fast unabhängig von der Größe des vorgeschalteten Widerstandes bis in die Nähe der synchronen Drehzahl hoch. Diese Eigenschaft ist höchst unerwünscht, denn die niederen Drehzahlen sind ja gerade dann erforderlich, wenn der Block von der Walze gefaßt werden soll, der Motor also noch nicht durch das Walzmoment belastet ist. Die Regelung durch Widerstände ist außerdem sehr unwirtschaftlich, da die Leistungsabgabe des Motors bei gleichbleibender Entnahme aus dem Netz der Drehzahl

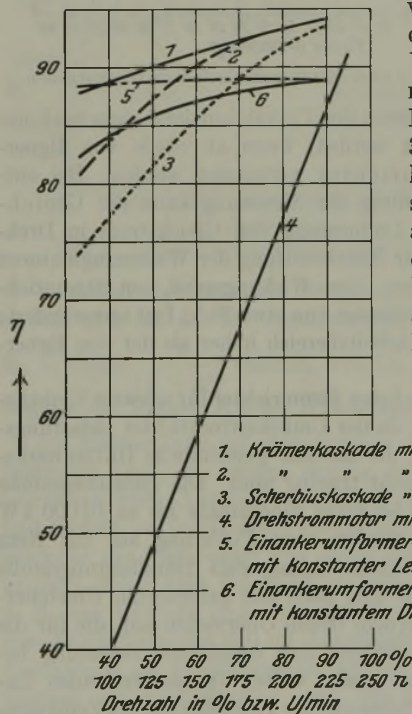


Bild 7. Wirkungsgrad von Regelantrieben.

verhältnismäßig ist, d. h. mit anderen Worten: der Motor nimmt bei 100 % Drehmoment und 30 % Drehzahlregelung die Vollastleistung aus dem Netz auf und gibt nur 70% dieser Leistung an die Welle ab, während 30 % als Verlustleistung in Wärme umgesetzt werden.

Die Nachteile des lastabhängigen Drehzahlverhaltens und die großen Regelverluste lassen sich durch polumschaltbare Motoren vermeiden, man erhält damit jedoch nur eine sehr grobstufige Regelung. Drehstrom-Kollektormotoren konnten für die bei Walzwerksantrieben erforderlichen Leistungen nicht gebaut werden. Sie sind teilweise wenigstens in der Ausführung als ständergespeiste Nebenschlußmotoren ebenfalls nur in groben Stufen regelbar und traten gegenüber den Drehstromregelsätzen bisher kaum in Erscheinung.

Die Haupteigenschaften der Regelsätze bestehen darin, daß die Schlupfenergie bei Drehzahlregelung wieder nutzbar gemacht, also nicht in Verlustwärme umgesetzt wird, und

daß der Nebenschlußcharakter des Antriebes auch bei verminderter Drehzahl beibehalten wird, sofern man nicht absichtlich durch Compoundierung einen von der Last abhängigen Drehzahlabfall herbeiführt, um Schwungräder zur Arbeitsabgabe heranziehen zu können.

Einen Anhalt über die Wirtschaftlichkeit eines Regelsatzes gibt Bild 7. Für eine Leistung von 2000 kW und einen Regelbereich bis auf 40 % der synchronen Drehzahl sind gegenübergestellt:

Der Wirkungsgrad einer Krämerkaskade mit Gleichstromhintermotor bei gleichbleibender Leistung und gleichbleibendem Drehmoment.

Der Wirkungsgrad einer Gleichstrom-Scherbiuskaskade mit Einankerumformer und Motorgenerator für Regelung mit gleichbleibendem Drehmoment.

Der Wirkungsgrad eines Drehstrommotors mit Widerstandsregelung.

Vergleichsweise ist auch noch der Wirkungsgrad eines Gleichstromantriebes angegeben, wobei der Motor von einem Einankerumformer gespeist wird, der über einen Umspanner an das Drehstromnetz angeschlossen ist. Bild 8 zeigt den Wirkungsgrad einer Drehstrom-Scherbiuskaskade, bei der die Hintermaschine elektrisch mit dem Walzenzugmotor gekuppelt ist.

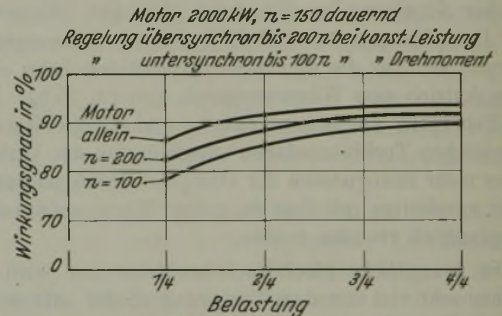


Bild 8. Wirkungsgrad einer Drehstrom-Scherbiuskaskade.

Die Arbeitsweise der Regelsätze beruht darauf, dem Läufer des Asynchronmotors mit seiner Schlupffrequenz eine Spannung aufzudrücken, deren Größe der gewünschten Drehzahlregelung entspricht. Das Drehmoment des Motors ist verhältnismäßig seinem magnetischen Kraftfluß und dem Läuferstrom. Der Läuferstrom selbst ist bestimmt durch das Verhältnis der Läuferspannung zu dem Widerstand im Läuferkreis. Die Läuferspannung wiederum ist geradlinig abhängig vom Schlupf des Motors; sie ist Null bei Synchronismus und 100 % bei Stillstand des Rotors. Wird nun der Widerstand erhöht, so muß die Drehzahl des Motors so weit absinken, bis die ansteigende Schlupfspannung wieder in der Lage ist, einen dem Lastmoment entsprechenden Strom durch die Läuferwicklung zu treiben. Bei Regelsätzen ersetzt man den Spannungsabfall am Widerstand durch eine Spannung, die dem Läufer des Hauptmotors von einem Einankerumformer oder einer Drehstrom-Kollektormaschine aufgedrückt wird.

Am bekanntesten sind 1. die Umformerkaskaden nach der Bauart Krämer für Regelung mit gleichbleibender Leistung. Hier wird die bei der Drehzahlregelung freiwerdende Schlupfenergie durch einen Einankerumformer in Gleichstrom umgeformt und einem mit dem Hauptmotor gekuppelten Gleichstrommotor zugeführt, also als mechanische Energie an der Walzwerkschleife wieder abgegeben. 2. Der Gleichstromregelsatz nach der Bauart Scherbius für Regelung mit gleichbleibendem Drehmoment, wobei die Schlupfenergie ebenfalls in einem Einankerumformer umgeformt, dann aber über einen Gleichstrom-Drehstrom-



Motorgenerator an das Netz zurückgeliefert wird. 3. Die Drehstromregelsätze nach der Bauart BBC Scherbius und Siemens-Kozisek. Bei beiden Bauarten kann die Kollektormaschine, die Hintermaschine, mit dem Asynchronmotor entweder mechanisch oder elektrisch gekuppelt sein. Im ersten Fall ergibt sich eine Regelung mit gleichbleibender Leistung; im zweiten, im Untersynchronegebiet, eine Regelung mit gleichbleibendem Drehmoment.

Diese Arten von Regelsätzen lassen sich theoretisch für unter- und übersynchrone Regelung bauen; man macht jedoch für Walzwerksantriebe nur bei den Drehstromregelsätzen von der übersynchronen Regelung Gebrauch. Die Doppelzonenregelung hat den Vorzug, daß bei gleichem Regelbereich die Hintermaschine nur für die halbe Leistung entworfen werden muß, die bei einseitiger Untersynchrone- regelung erforderlich ist.

Die Regelsätze mit Gleichstromhintermaschinen lassen sich bei genügend feinstufiger Ausbildung der Nebenschluß- regler praktisch stufenlos regeln. Für die Scherbius-Regel- sätze, die bisher mit Rücksicht auf die Anzapfungen des Erregertransformators nur stufenweise regelbar waren, ist neuerdings ein Verfahren für stufenlose Regelung aus- gebildet worden, bei dem im Erregerkreis der Scherbius- Maschine ein Doppeldrehregler angewendet wird.

Da die schweren Profile, die hohe Drehmomente erfor- dern, mit den niederen Geschwindigkeiten gewalzt werden, wird man den Regelsätzen den Vorzug geben, die bei gleichbleibender Leistung regeln, bei denen also die Hinter- maschinen mit dem Walzenzugmotor mechanisch gekuppelt sind.

Im Zusammenhang mit den Regelsätzen soll noch auf einen neuen Nebenschluß-Kollektormotor hingewiesen werden, der bis zu einer Leistung von 1000 PS bei 428 U/min bisher als Walzwerksmotor gebaut wird. Er läßt sich bei gleichbleibendem Drehmoment um 65 bis 70 % nach ab- wärts regeln und wird als ständergespeister Motor mit feststehendem Bürstensatz ausgeführt. Ueber die Sekundär-

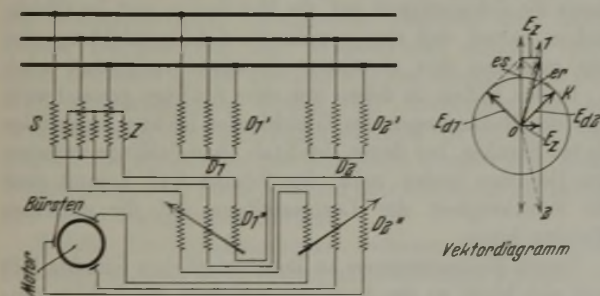


Bild 9. Schaltbild Kollektormotor mit Doppel-Drehtransformator.

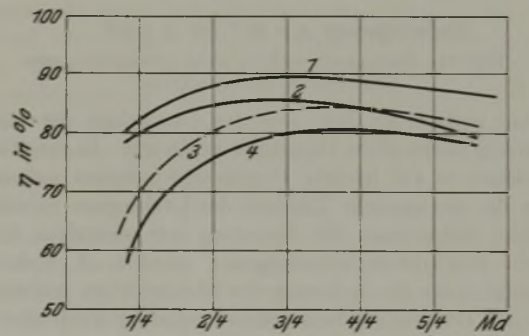
wicklung von zwei Drehreglern (Bild 9) steht der Kollektor des Läufers mit dem Netz in Verbindung, die Ständer- wicklung S wird unmittelbar aus dem Netz gespeist. Die Spannungen  $E_{d1}$  und  $E_{d2}$  der beiden Drehregler sind gleich und unveränderlich; durch gegenseitiges Verdrehen der Regler wird die Phasenlage der Spannungen  $E_{d1}$  und  $E_{d2}$  und damit die Größe der sich ergebenden Spannung  $e_s$ , die die Motordrehzahl bestimmt, verändert. Beim Betrieb im untersynchronen Regelbereich wird die Schlupfenergie über die Drehregler in das Netz zurückgeliefert, im übersynchrone Gebiet dem Läufer zugeführt. Die Motoren haben im Läufer noch eine besondere Hilfswicklung, durch die die Schwierigkeiten der Kommutierungsverhältnisse beherrscht werden.

Im steigenden Maße werden für Antriebe mit großem Regelbereich in den letzten Jahren wieder Gleichstrom-

motoren in Verbindung mit Gleichrichtern verwendet, seitdem es durch die Einführung der Gittersteuerung gelungen war, den Stromrichtern bei Kurzschluß oder Rück- zündungen eine wesentlich höhere Betriebssicherheit zu geben und ihre Spannung stufenlos von Null bis zum vollen Wert zu bringen.

Vorläufig lassen sich keine Angaben darüber machen, bis zu welcher Leistung der umlaufende Leonardumformer in den Anlagekosten billiger ist als der Stromrichter. Eine feste Grenze wird man hier zur Zeit auch noch nicht ziehen können, da die Entwicklung auf dem Gebiete der Gleich- richter noch zu sehr im Fluß ist. Zugunsten der letzten spricht bei den Anlagekosten der Wegfall der Maschinen- fundamente und der geringere Platzbedarf. Zur Beurteilung der Gesamtwirtschaftlichkeit muß neben den Anlagekosten auch der Wirkungsgrad der Umformeranlage berücksichtigt werden. Die Verluste im Gleichrichtergefäß sind bedingt durch den Spannungsabfall — den Lichtbogenabfall —, der bei gleicher spezifischer Anodenbelastung einen von der Höhe der Gleichspannung fast unabhängigen Wert von 20 bis 30 V hat. Deshalb wird der Wirkungsgrad eines Gleichrichters um so besser, je höher die Gleichspannung ist. Bei 220 V beträgt der Gefäßwirkungsgrad etwa 90 %, bei 550 V etwa 95½ % und bei 1000 V rd. 97 %. Bei Walz- werksantrieben wird man immer in der Lage sein, die Gleich- spannung mit mindestens 550 V zu wählen, da es sich bei den Antrieben um Leistungen handelt, für die Motoren mit dieser Spannung ohne Schwierigkeiten gebaut werden können. Für größere Leistungen werden heute auch schon vielfach Motoren mit 1000 V verwendet.

Für den Wirkungsgrad der gesamten Gleich- richteranlage sind noch maßgebend der Verbrauch der



- 1 = Gleichrichterantrieb, 1000 Volt, 1500 kW, 150 U/min.
- 2 = " " " 500 " , 750 " , 375 " .
- 3 = Leonardantrieb, 600 " , 1500 " , 750 " .
- 4 = " " , 300 " , 750 " , 375 " .

Bild 10. Wirkungsgrad eines Walzenzugmotors.

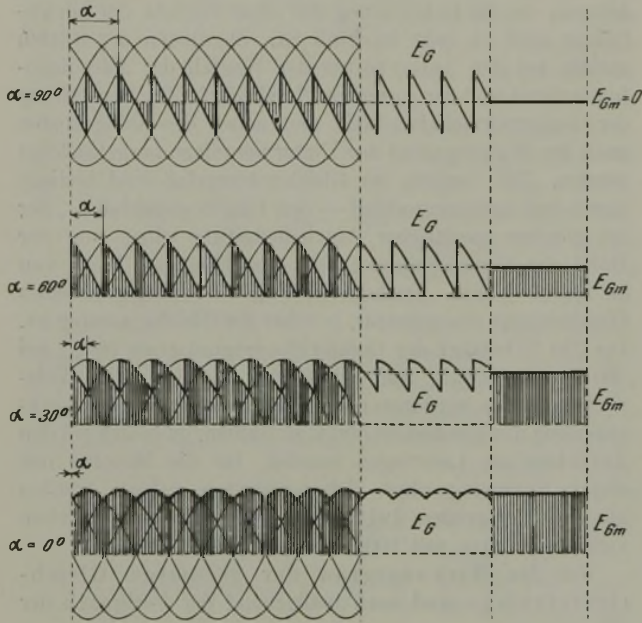
Hilfsantriebe, der Vakuumpumpen, Kühleinrichtung, Erre- gung und Gittersteuerung, ferner die Verluste des Um- spanners. Lastunabhängig sind bei der Gleichrichteranlage nur die Eisenverluste im Umspanner und der Verbrauch der Hilfsantriebe. Die Wirkungsgradkurve (Bild 10) ver- läuft aus diesem Grunde wesentlich flacher als beim um- laufenden Umformer und hat selbst bei Leerlauf noch sehr günstige Werte. Da im Walzwerksbetrieb in der Regel mit stark wechselnder Belastung gerechnet werden muß, ist der Stromrichter im Energieverbrauch wesentlich günstiger als der umlaufende Umformer.

Ein weiterer Vorzug der gittergesteuerten Stromrichter liegt darin, daß sich Regelvorgänge wesentlich rascher durch- führen lassen als bei Leonard-Umformern. Spannungs- änderungen an einem Generator beanspruchen wegen der magnetischen Trägheit der Feldwicklung immerhin eine



gewisse Zeitdauer, während sich Regelvorgänge am Stromrichter praktisch träge durchföhren lassen.

Zur Spannungsregelung der Gleichrichter beaufschlagt man die Gitter mit einer Steuerspannung (Bild 11), die gegen die Anodenspannung zeitlich verschoben wird, wodurch der Zündensatz der einzelnen Anoden verzögert wird. Je nach dem Grad der Aussteuerung läßt sich jede gewünschte Gleichspannung einstellen; bei 90% Phasenwinkel zwischen Gitter- und Anodenspannung beträgt der Mittelwert der Gleichspannung Null.



Zündverzögerung  $\alpha = 90^\circ$  bis  $\alpha = 0^\circ$

Bild 11. Spannungsregelung eines gittergesteuerten Sechssthen-Gleichrichters.

Am einfachsten läßt sich die Phasenlage der Gitterspannung durch einen Drehregler verändern. In den Fällen, bei denen es auf höchste Regelgeschwindigkeit ankommt, kann die mechanische Trägheit des Drehreglers vermieden werden, indem man die Steuerung rein elektrisch durchföhrt. Von dieser Steuerungsart wird z. B. Gebrauch gemacht, wenn die Spannung des Gleichrichters unabhängig von der Belastung gleichbleibend gehalten wird oder mit der Belastung noch ansteigen soll.

Es würde zu weit föhren, auf die einzelnen Verfahren der Gittersteuerung näher einzugehen. Von den Gleichrichter bauenden Firmen sind eine Reihe von Lösungen entwickelt worden, mit denen die im Walzwerksbetrieb auftretenden Regelaufgaben einer befriedigenden Lösung zugeföhrt werden konnten. Erwähnt sei hier als Beispiel eine Wechselrichteranlage, die in angestremgtem Umkehrbetrieb zwei Walzwerksmotoren von je 300 kW Abschaltleistung speist. Die Motoren sind dabei unter schwierigen Verhältnissen mit einem Dampftrieb im Gleichlauf zu halten.

Besondere Aufmerksamkeit wandte man in den letzten Jahren der Entwicklung kontinuierlicher Straßen zu. Ihre Hauptvorteile traten erst hervor, nachdem man den gemeinsamen Antrieb mehrerer Gerüste über Seilscheiben, Riemen oder Getriebe aufgegeben hatte und zum Einzelantrieb der Gerüste übergegangen war. Die starre Kupplung der Gerüste legt Geschwindigkeiten und Abnahmen fest; kleine Aenderungen sind nur durch die Wahl anderer Walzendurchmesser möglich, der Walzplan einer derartigen Straße ist auf einige wenige Profile fest-

gelegt und beschränkter als der einer offenen Straße, bei der der Stab zwischen den Stichen entweder frei ausläuft oder die Schlingenlänge in gewissen Grenzen durch die Steckzeiten beeinflusst wird.

In steigendem Maße wird deshalb der Einzelantrieb wenigstens für die Fertiggerüste bevorzugt, obwohl die Anlagekosten für die Einzelmotoren natürlich größer sind als die eines gemeinsamen Motors mit der Leistung der Gesamtstrecke.

Bei Fertiggstraßen, bei denen die Austrittsgeschwindigkeit aus dem letzten Gerüst in weiten Grenzen regelbar sein muß und der Walzwerker in der Kalibrierung freie Hand haben will, kommen für den Einzelantrieb nur Motoren mit großem Regelbereich in Frage.

Uebliche Drehstrommotoren scheiden hierfür aus, da sie an feste Drehzahlen gebunden sind. Drehstrom-Kollektormotoren konnten bis vor kurzem für größere Leistungen nur als teure langsam laufende Maschinen gebaut werden, außerdem war ihre Regelung durch die Bürstenverschiebung, die einen besonderen Antrieb erfordert, umständlich. Drehstromregelsätze lassen sich wirtschaftlich nur für Regelbereiche bauen, die wohl für Aenderungen in der Abnahme der einzelnen Gerüste ausreichend sind, aber nicht mehr genügen, wenn die Walzgeschwindigkeit der ganzen Strecke weitgehend geändert werden soll. Der weitaus größte Teil der kontinuierlichen Straßen hat deshalb Gleichstrommotoren, die durch Beeinflussung der Ankerspannung bei gleichbleibendem Drehmoment, darüber hinaus durch Beeinflussung des Nebenschlußfeldes bei gleichbleibender Leistung mit ganz geringem Verlust in ihrer Drehzahl regelbar sind. Bei der Beurteilung der Anlagekosten ist zu beachten, daß für die Speisung der Motoren Umformersätze zur Umwandlung des Drehstroms in Gleichstrom erforderlich werden.

Auch der Gleichstrommotor ist nicht die vollkommen vorbildliche Maschine für den Antrieb kontinuierlicher Straßen, da seine einmal eingestellte Drehzahl nicht starr bleibt, sondern sich mit der Belastung ändert. Es tritt damit die Schwierigkeit auf, die Motoren so weit im Gleichlauf zu halten, daß eine unzulässige Schlingenbildung oder Zug zwischen den einzelnen Gerüsten verhindert wird.

In den Fällen, in denen mit einer Schlinge gewalzt wird, sind die Bedingungen des Gleichlaufes leichter zu erfüllen als bei Straßen, bei denen der Stab ohne Schlinge zwischen den Gerüsten laufen muß. Im letzten Fall kommt noch die Schwierigkeit der Lastverteilung auf die einzelnen Motoren hinzu.

Durch Beobachtungen an kontinuierlichen Straßen läßt man sich leicht zu der Annahme verleiten, die Schlingenlänge (Bild 12) sei von der Walzgeschwindigkeit abhängig,

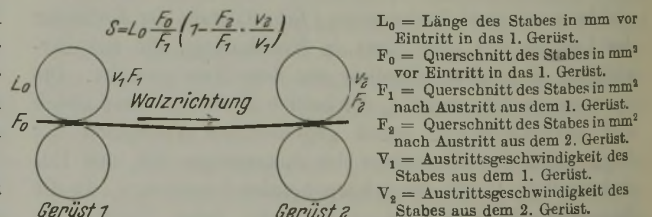


Bild 12. Schlingenlänge zwischen zwei Gerüsten.

da die Hauptschwierigkeiten mit unzulässig großen Schlingen vor allem an den letzten Gerüsten auftreten. Die Annahme beruht auf einem Trugschluß. Maßgebend für die Schlingenlänge ist nicht der absolute Wert der Walzgeschwindigkeit, sondern das Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeiten zweier benachbarter Gerüste. Daß die Schlingenbildung bei falscher Anstellung oder falscher Ein-



stellung der Drehzahlen am Ende der Strecke größer ist als am Anfang, hat seinen Grund darin, daß die Walzader entsprechend der Streckung größer geworden ist.

Zwischen Schlingenlänge und Walzgeschwindigkeit besteht nur ein mittelbarer Zusammenhang durch die Zeitdauer, die für Aenderungen des Drehzahlverhältnisses beansprucht wird. Wird auf einer sechsgerüstigen Bandstraße ein 110-kg-Ring  $40 \times 1 \text{ mm}^2$  mit Abnahmen von je 30 % auf den ersten fünf Gerüsten und 15 % auf dem Poliergerüst mit 15 m Endgeschwindigkeit gewalzt, so entsteht zwischen den beiden ersten Gerüsten eine Schlinge von 4,69 m, wenn das zweite Gerüst um 2 % zu langsam läuft; zwischen Gerüst 5 und 6 bei der gleichen anteiligen Drehzahlabweichung eine Schlinge von 19,3 m. Die Schlinge wächst dabei in jeder Sekunde zwischen Gerüst 1 und 2 um 200 mm, zwischen Gerüst 5 und 6 dagegen um 825 mm. Vergehen 2 s, bis das Drehzahlverhältnis richtiggestellt ist, so ist im ersten Falle eine Schlinge von 400 mm, im zweiten Falle jedoch schon eine von 1650 mm aufgelaufen. Bei sehr schnelllaufenden Straßen kommt es daher darauf an, in das Drehzahlverhältnis der einzelnen Gerüste so rasch als nur irgend möglich einzugreifen.

Es wurde oben schon als Nachteil bezeichnet, daß die Antriebsmotoren ihre Drehzahl nicht starr halten. Je nach der Ausbildung des Motors wird seine Drehzahl mit der Belastung abfallen, unter Umständen auch ansteigen oder bis zu einem bestimmten Drehmoment erst abfallen und dann wieder ansteigen. Wenn man sich auf den Standpunkt stellt, man könne bei der Inbetriebsetzung einer kontinuierlichen Strecke die Anstellungen der einzelnen Gerüste und ihre Geschwindigkeiten entsprechend der Kalibrierung haargenau einstellen und die Straße müßte dann beim Walzen einwandfrei laufen, dann stehen natürlich die Drehzahlveränderungen zwischen Leerlauf und Belastung hindernd im Wege. Durch Meßfehler bei der Bestimmung der Walzendurchmesser und Drehzahlen, durch Ungenauigkeiten der Anstellung und Lager, durch Unterschiede in der Walztemperatur, verschiedene Breitung des Werkstoffes, Durchbiegung der Walzen und ähnliche Einflüsse entstehen in der Bestimmung der Querschnitte und Walzgeschwindigkeiten Fehler, die mindestens in der Größenordnung von 4 % liegen dürften. Es ist daher unmöglich, die Straßen im Leerlauf genau einzustellen. Beim Walzen müssen die Stellschrauben oder die Motordrehzahlen oder beide nachgeregelt werden.

Welche Drehzahländerungen zwischen Leerlauf und Belastung zulässig sind, richtet sich vor allem danach, ob mit oder ohne Schlinge gewalzt werden kann, dann aber auch nach der Bauart der Straße, dem Abstand der Gerüste, dem Werkstoff, der auf der Straße gewalzt wird, und mit Rücksicht auf die Regelgeschwindigkeit auch nach der Walzgeschwindigkeit.

Die Drehzahlkennlinie der Motoren wird durch eine Reihe von Vorgängen beeinflusst, deren hauptsächlichste der Ohmsche Spannungsabfall und die Aenderungen des magnetischen Feldes sind. Der Ohmsche Spannungsabfall bewirkt ein Absinken der Drehzahl, die mit der Belastung eintretende Ankerrückwirkung eine Feldschwächung und damit einen Drehzahlanstieg. Da beide Einflüsse einander entgegenwirken, hat man es in gewissen Grenzen in der Hand, der Maschine eine mehr oder weniger flache Kennlinie zu geben, die durch Anwendung einer Kompensationswicklung und unter Umständen einer kleinen Sicherheits-Verbundwicklung meistens fallend entworfen wird, so daß also die Drehzahl mit der Belastung sinkt.

Der anteilige Drehzahlabfall ist dabei über den Regelbereich des Motors nicht unveränderlich (Bild 13). Wird bei vollem Feld mit der Ankerspannung geregelt, dann wird bei gleichem Drehmoment der Ohmsche Spannungsabfall und damit der Drehzahlabfall anteilig um so größer, je niedriger die Ankerspannung und die Drehzahl des Motors liegen.

Erfolgt die Regelung durch Schwächen des Nebenschlußfeldes, so wirkt sich die Verbundwicklung gegenüber dem Nebenschlußfeld um so stärker aus, je höher die Drehzahl ist. Durch Nebenschluß der Verbundwicklung oder Bürstenverschiebung kann die Kennlinie flacher gelegt werden.

Die Betriebserfahrungen an einer Reihe von schweren Straßen, auf denen mit Schlingen gewalzt wird, zeigten,

daß ohne Einbau besonderer Gleichlaufeinrichtungen mit Motoren, die einen Drehzahlabfall von 4 bis 5 % zwischen Leerlauf und Vollast haben, einwandfrei gewalzt werden kann. Man sollte eigentlich annehmen, daß bei diesem Drehzahlunterschied das Kopfende des Walzstabes auf eine Länge, die dem Gerüstabstand entspricht, gezogen wird, denn das in der Walzrichtung folgende Gerüst läuft in dem Augenblick, in dem der Stab eintritt, ja um 4 bis 5 % zu schnell. Bei richtiger Einstellung der Straße wird man jedoch keine durch Zug entstandene Abweichung im Breiten- oder Stärkenspielraum am Anfang des Walzgutes feststellen. An der Straße selbst kann man beobachten, daß die Schlinge sofort beim Fassen der Walzen entsteht und im ersten Augenblick sogar größer ist als kurze Zeit darauf. Die Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß der Strom des Motors infolge der induktiven Widerstände im Stromkreis dem Belastungsmoment nicht unverzüglich folgen kann. L. A. Umansky<sup>6)</sup> hat die Schwingungserscheinungen beim Uebergang von der Leerlauf- auf die Belastungsdrehzahl untersucht und nachgewiesen, daß die Drehzahl vom Leerlaufwert erst unter die Belastungsdrehzahl sinkt, dann wieder über die letztgenannte, unter Umständen sogar über die Leerlaufdrehzahl ansteigt und dann als gedämpfte Schwingung auf den gleichbleibenden Wert bei Belastung einpendelt. Der Verlauf der Schwingung ist von der Größe des Schwungmomentes, dem Ohmschen und induktiven Widerstand des Stromkreises und der Ankerrückwirkung der Maschine abhängig. Durch geschickte Angleichung der verschiedenen Werte kann die Dauer und die Frequenz der Schwingung und der Betrag des größten Drehzahlabfalles eingeschränkt werden, was bei Straßen, auf denen ohne Schlinge gewalzt werden muß, sehr wichtig ist, da bis zum Eintritt des Beharrungszustandes das Walzgut erst gezogen und dann gestaucht wird.

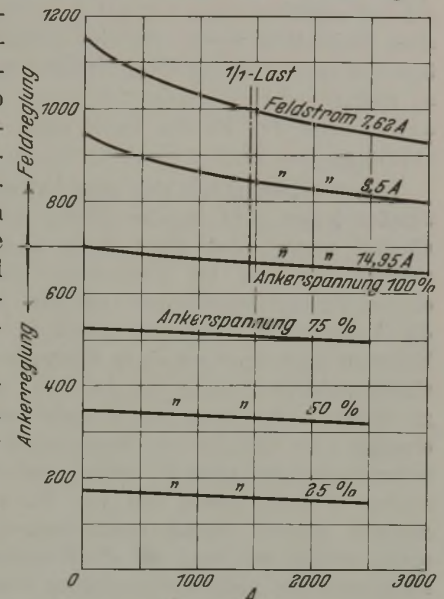


Bild 13. Drehzahlkennlinien eines Walzenzugmotors von 670 kW und 670 bis 1000 U/min mit Kompensations- und Verbundwicklungen.

<sup>6)</sup> Electr. Engng. 1935, S. 387/93.



In den Fällen, in denen die Drehzahlabweichungen der Motoren ein einwandfreies Walzen stören, müssen besondere Gleichlaufeinrichtungen vorgesehen werden, die das richtige Drehzahlverhältnis selbsttätig wiederherstellen. Da die Drehzahl eines Gleichstrommotors der angelegten Klemmenspannung unmittelbar und dem Fluß in der Maschine umgekehrt verhältnisgleich ist, hat man zwei Möglichkeiten, seine Drehzahl zu regeln. Die eine besteht darin, sie durch Spannungserhöhung oder Spannungserniedrigung zu steigern oder zu senken; die andere darin, sie durch Schwächen des Feldes nach oben und durch Verstärkung des Feldes nach unten zu regeln.

Die erste Lösung läßt sich beim Antrieb kontinuierlicher Straßen leider nicht in allen Fällen anwenden; sie setzt nämlich voraus, daß jeder Motor auch seinen eigenen Gleichrichter oder bei umlaufenden Umformern seinen eigenen Stromerzeuger (Generator) hat. Mit Rücksicht auf die Anlagekosten wird man jedoch in vielen Fällen bei kleineren Leistungen nur einen Stromerzeuger oder Gleichrichter aufstellen, der in der Lage ist, sämtliche Motoren zu speisen, oder wenn die Einzelleistungen der Stromerzeuger oder Gleichrichter hierzu nicht mehr ausreichen, mehrere möglichst große Einheiten parallel auf eine Sammelschiene arbeiten lassen und von ihr aus die einzelnen Motoren speisen. Spannungsänderungen der Umformeranlage wirken sich dann auf alle Motoren gleichzeitig aus; sie können also nicht zur Aenderung des Drehzahlverhältnisses der einzelnen Gerüste herangezogen werden.

Bei gemeinsamer Sammelschiene ist man dann darauf angewiesen, die Eingriffe in das Drehzahlverhältnis durch Beeinflussung der Motorfelder vorzunehmen. Durch Zu- oder Abschalten vom Widerstand im Feldstromkreis wird die Spannung an den Feldklemmen und damit der Erregerstrom geändert. Der Regelvorgang beansprucht eine gewisse Zeitdauer, da der Feldstrom wegen der Induktivität der Wicklung den Spannungsänderungen nicht sofort, sondern nur mit einer gewissen Verzögerung folgt. Die Gleichung beim Aufbau des Feldstromes lautet:

$$J = J_{\max} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right),$$

wobei T die sogenannte Feldzeitkonstante  $\frac{L}{R}$  ist. L ist dabei die Induktivität und R der Ohmsche Widerstand des Stromkreises.

Nach dem oberen Oszillogramm beträgt die Feldzeitkonstante (Bild 14) eines Walzenzugmotors von 2000 PS Leistung, der von 500 bis 1000 U/min im Feld regelbar ist, 1,42 s, wenn der Regelwiderstand ganz kurzgeschlossen ist. Nach Ablauf von einer Zeitkonstanten hat der Strom erst 63,3 % seines vollen Wertes erreicht; bis er auf 99 % und damit praktisch seinen Endwert angestiegen ist, vergeht eine Zeit von 4,6 Zeitkonstanten; bei der Kurve 1 sind das 6,07 s. Durch Zuschalten von Widerstand vermindern sich die Zeiten ganz erheblich, bei dem Oszillogramm 5, das mit einem Vorschaltwiderstand von 28 Ohm aufgenommen wurde, z. B. auf 0,34 s für die Zeitkonstante und 1,56 s für den völligen Aufbau des Feldes.

Für den Abschaltvorgang lautet die Gleichung des Feldstromes:

$$J = J_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{T}}.$$

Die Kurven liegen spiegelbildlich zu den erstgenannten, wie in dem Oszillogramm 1 und 2 punktiert eingetragen ist.

Bei der Gleichlaufsteuerung werden für Feldänderungen nicht die in dem Oszillogramm angegebenen Zeiten von

beispielsweise 6,07 s beansprucht, da es sich ja nicht darum handelt, das Feld vollkommen auf- oder abzubauen, sondern nur verhältnismäßig geringe Veränderungen in der Feldstromstärke vorzunehmen sind. Trotzdem wird der Regelvorgang unter Umständen zu lange dauern, denn die Aenderungen im Feld geben ja erst den Anstoß zur Aenderung der Drehzahl; bis sich der Motor selbst beschleunigt oder verzögert hat, vergeht wiederum eine bestimmte Zeit.

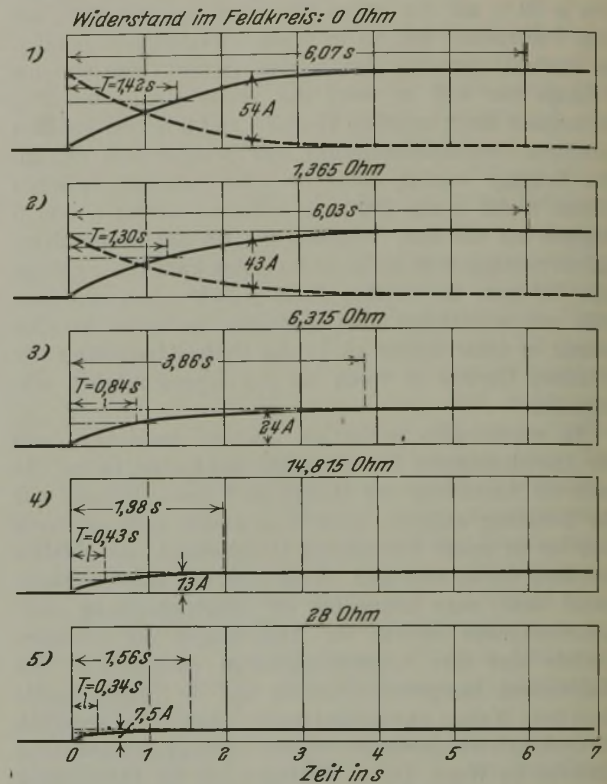


Bild 14. Feldzeitkonstante eines Walzenzugmotors.

Durch Sonder-Erregerschaltungen, wie sie bei Ilgnersätzen heute durchweg angewandt werden, können die Regelzeiten verkürzt werden.

Der Nachteil der Feldträgheit tritt auch auf, wenn die Drehzahl der Motoren durch Ankerspannung geregelt wird, die Motoren jedoch von Stromerzeugern gespeist werden, denn die Spannungsänderungen der Stromerzeuger werden ebenfalls durch Veränderung ihres Feldstromes vorgenommen.

Eine vorbildliche Lösung bietet hier der Gleichrichter, der sich durch die Gittersteuerung praktisch trägheitslos regeln läßt. Bei der Einzelspeisung der Motoren muß man den speisenden Generator oder Gleichrichter mit seinem Motor als Einheit auffassen. Das Drehzahlverhalten des Motors ist nämlich in diesem Fall nicht nur durch seine Drehzahlkennlinie, sondern auch durch die Spannungskennlinie des speisenden Umformers bestimmt. Unter Umständen müssen Maßnahmen getroffen werden, um die Spannung des Gleichrichters oder Generators unverändert zu halten, besonders dann, wenn große Unterschiede in der relativen Belastung der einzelnen Antriebe vorhanden sind.

Im Laufe der Zeit sind eine ganze Reihe von Gleichlauf-Regleinrichtungen entwickelt und gebaut worden, von denen, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, nur einige erläutert werden sollen. Welcher Bauart im Einzelfalle der Vorzug zu geben ist, richtet sich nach den Erfordernissen der Regelgenauigkeit und Regelgeschwindigkeit. Es liegt nahe, für den Vergleich der Drehzahlen Drehzahl-dynamos mit den Walzenzugmotoren zu kuppeln, deren



Anker gegeneinandergeschaltet werden, so daß bei Drehzahlabweichungen ein Spannungsunterschied entsteht, den man zur Betätigung eines Reglers benutzt. Die Drehzahl-dynamos müssen in diesem Falle stark gesättigt sein, da sonst bei Schwankungen der Erregerspannung ihre Spannungen den Drehzahlen nicht mehr genau verhältnisgleich sind. Unterschiede in der Erwärmung der Maschinen beeinträchtigen durch Veränderungen der Ohmschen Widerstände in Feld und Anker die Regelgenauigkeit. Wirkt der Spannungsunterschied unmittelbar auf einen kleinen Steuermotor, der den Nebenschlußregler des Walzenzugmotors verstellt, so ist bei kleinen Drehzahlabweichungen nur eine beschränkte Genauigkeit zu erzielen, da das Verstellmoment im Vergleich zu den Reibungsmomenten zu gering wird. Günstiger ist es, den Spannungsunterschied auf die Spule eines Thomareglers arbeiten zu lassen und dadurch ein Oelventil im Regler zu betätigen. Der Oeldruck des Reglers, durch den der Feldregler des Walzenzugmotors verstellt wird, hat einen gleichbleibenden, von den Drehzahlverhältnissen an der Straße unabhängigen Wert. An Stelle eines Thomareglers können auch zwei Steuerröhren vorgesehen werden, deren Anoden von einer festen Spannung gespeist und deren Gitter durch den Spannungsunterschied der Drehzahl-dynamos gesteuert werden. Auch bei dieser Anordnung hat man, unabhängig davon, wie groß der Drehzahlunterschied der Walzenzugmotoren ist, ein gleichbleibendes Drehmoment für die Betätigung des Nebenschlußreglers zur Verfügung; man hat gegenüber dem ölbetätigten Regler den Vorzug einer größeren Regelgeschwindigkeit.

Vollkommen genau arbeitet eine Gleichlauf-Einrichtung, die auf der Grundlage des „elektrischen Differentials“ aufgebaut ist. Von einem Synchrongenerator aus, dem Leit-generator, speist man die Ständer von sogenannten Reluktanzmotoren, die mit den im Gleichlauf zu haltenden Maschinen über stufenlose, regelbare Vorgelege gekuppelt sind. Der Ständer der Reluktanzmotoren ist drehbar gelagert und seinerseits mit dem zu betätigenden Regler gekuppelt. Im Gleichlauf befinden sich Läufer und Ständerdrehfeld der Reluktanzmotoren im Synchronismus. Wird der Gleichlauf eines Walzenzugmotors gestört, so ist damit der Synchronismus zwischen Läufer und Ständerfeld des zugehörigen Reluktanzmotors aufgehoben. Da der Läufer mechanisch angetrieben wird, übt er infolge der veränderten Frequenz ein Drehmoment auf den Ständer aus, das den Regler des Walzenzugmotors so lange verstellt, bis der Synchronismus zwischen Läufer und Ständerdrehfeld und damit der Gleichlauf zwischen den Walzenzugmotoren wiederhergestellt ist. Der Regelbereich der Uebersetzungsgetriebe zwischen Walzenzug- und Reluktanzmotoren ist dabei so zu wählen, daß für Änderungen in der Abnahme je Gerüst genügend Spielraum besteht. Winkelabweichungen von weniger als  $1\frac{1}{2}^\circ$  zwischen Läufer- und Ständerdrehfeld der Reluktanzmotoren genügen schon, um den Regler zu verstellen; bei entsprechend feinstufiger Ausführung der Regelwiderstände arbeitet die Anordnung also äußerst genau.

Bei Straßen mit vielen kontinuierlich angeordneten Gerüsten muß die Möglichkeit vorhanden sein, die Strecke teilweise zu regeln. Bei einer Strecke mit fünf zusammenarbeitenden Gerüsten (Bild 15) stimmte die Einstellung bis auf das Gerüst 3, das zu langsam läuft. Um die Schlinge wegzubekommen, muß seine Drehzahl erhöht werden, wobei der Gleichlauf zwischen Gerüst 1 und 2 oder Gerüst 3 bis 5 nicht gestört werden darf.

Für diese Verhältnisse wurde die Folgeschaltung nach Bild 15 entwickelt. Jeder Motor hat hier seine Zusatz-

maschine, die entweder im Feldstromkreis liegt wie im oberen Teilbild, oder in den Ankerstromkreis eingeschaltet ist wie im unteren Teilbild. Muß nun beispielsweise die Drehzahl von Motor 3 oder 22 geändert werden, ohne daß der schon vorhandene Gleichlauf zwischen den vorliegenden oder nachfolgenden Gerüsten gestört werden darf, so wird die Spannung der Zusatzmaschine 14 oder 26 geändert. Der Regelimpuls überträgt sich dabei auf die Feldwicklungen 9, 10 und 11 oder auf die Anker der Motoren 22 bis 24, ändert also die Drehzahlen der letzten drei Gerüste, während die beiden ersten Gerüste des Stranges von der Regelung unberührt bleiben.

Die Anordnung nach dem oberen Teilbild arbeitet bei weitgehender Feldregelung nur dann einwandfrei, wenn der gesamte Regelbereich der Motoren auf dem geradlinigen Teil der magnetischen Kennlinie liegt, da nur in diesem Bereich die Drehzahlen der Motoren den Änderungen der Regelspannung verhältnisgleich sind. Da dies teilweise nicht möglich ist, andererseits auch die Regelimpulse rascher in die Tat umgesetzt werden, wenn die Drehzahlregelung durch Spannungsänderungen an den Ankern vorgenommen wird, ist regeltechnisch die Anordnung nach dem unteren Teilbild mit Zusatzmaschinen im Ankerkreis der Motoren vorzuziehen. Sie ist aus wirtschaftlichen Gründen allerdings nur durchzuführen, wenn die Einzelleistungen klein sind, denn jede Zusatzmaschine muß für die Leistung sämtlicher in der Walzrichtung folgender Motoren entworfen werden. In der Schaltung nach dem unteren Teilbild ist diese Schwierigkeit dadurch umgangen, daß jeder Motor im Anker seine Zusatzmaschine erhält, deren Spannungen durch weitere Zusatzmaschinen 35 bis 38 geregelt werden.

Die Gleichlaufsteuerungen nach vorstehender Art sind an mehreren Straßen mit vollem Erfolg unter den schwierigsten Regelbedingungen in Betrieb. Diese treten ein, wenn aus walttechnischen Gründen während des Walzens große Drehzahländerungen vorzunehmen sind, da die Gefahr besteht, daß die einzelnen Motoren sich relativ zueinander ungleich beschleunigen oder verzögern und daß Pendelerscheinungen als Folge eines Ueberregels eintreten, falls die Maschinen nicht rasch genug auf die Regelimpulse ansprechen. Mit gittergesteuerten Stromrichtern läßt sich diese Aufgabe heute einfacher und wohl auch wirtschaftlicher lösen. Die Steuerung spricht augenblicklich an, außerdem entfallen bei der Anlage die Zusatzmaschinen, die auch im Falle 3 noch immer für die volle Motorleistung zu entwerfen sind. Zur Regelfrage bei kontinuierlichen Straßen läßt sich nach den bisher vorliegenden Betriebserfahrungen wie folgt Stellung nehmen:

Bei großen Einzelleistungen der Antriebsmaschinen kann auf jede selbsttätige Gleichlaufregelung verzichtet werden,

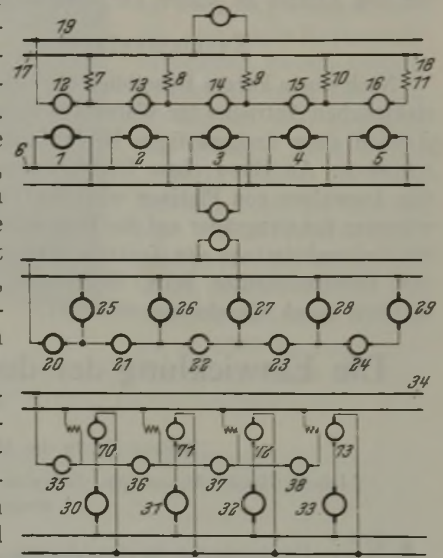


Bild 15. Folgeschaltung der Siemens-Schuckertwerke (SSW.) nach DRP. 588 072.



wenn man die Motoren selbst so bemißt, daß sie den Anforderungen des kontinuierlichen Walzbetriebes genügen. Man darf dabei den Regelbereich der Motoren nicht übertrieben groß wählen und die Maschinen elektrisch nicht zu hoch ausnutzen. Je kleiner die Einzelleistungen, je höher die Walzgeschwindigkeiten und je dünner das zu walzende Gut wird, um so mehr steigen die Anforderungen an das Drehzahlverhalten der Motoren, d. h. an die Gleichlaufsteuerungen.

Die Ausführungen dürften gezeigt haben, daß die Elektroindustrie heute wohl in der Lage ist, fast alle Wünsche zu erfüllen, die der Walzwerker oder Walzwerkskonstrukteur an die Antriebe stellen muß. Um jeweils die technisch und wirtschaftlich beste Lösung zu finden, ist jedoch heute noch mehr als früher eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Walzwerker, dem Walzwerkskonstrukteur und dem, der den Antrieb zu planen hat, erforderlich.

#### Zusammenfassung.

Nach einem kurzen Ueberblick über die Entwicklung des elektrischen Antriebes für Walzwerke wird ein neuzeitlicher Antrieb einer dreigerüstigen Dreiwalzenplattenstraße beschrieben. An Hand eines Drehmomentenschaubildes für das Auswalzen von Platinen wird der Einfluß verschieden schwerer Schwungräder auf die Bemessung des Motors und die Spitzenbelastung der Zentrale gezeigt und der Verlauf des Bremsmomentes beim Abbremsen von Drehstrommotoren durch Gleichstrom erläutert.

Bei der Besprechung der Umkehrantriebe werden die Verbesserungen an den Leonardsteuerungen erwähnt; außerdem wird ein Ueberblick über den Stromverbrauch elektrisch angetriebener Blockstraßen gegeben. Die Arbeitsweise von Regelsätzen wird erläutert und anschließend auf die wirtschaftlichen Vorteile gegenüber der Widerstandsregelung hingewiesen. Die Vorteile gittergesteuerter Stromrichter gegenüber umlaufenden Umformern im Wirkungsgrad und in der Steuergeschwindigkeit werden erläutert.

Bei den Antrieben kontinuierlicher Straßen wird darauf hingewiesen, weshalb für den Einzelantrieb bisher fast nur Gleichstrommotoren verwendet wurden; ferner, daß zwischen Schlingenlänge und Walzgeschwindigkeit nur ein mittelbarer Zusammenhang durch die Regelgeschwindigkeit besteht. Die hauptsächlichsten Einflüsse, die das Drehzahlverhalten der Motoren bestimmen, werden erörtert und die Schwingungserscheinungen der Motoren erwähnt, die beim plötzlichen Belastungswechsel auftreten. Es wird auf die beiden grundsätzlichen Lösungen, die Motordrehzahl zu regeln, eingegangen und gezeigt, wie der Nachteil langer Regelzeiten bei Feldregelung durch Spannungsregelung mit gittergesteuerten Gleichrichtern vermieden werden kann. Von den Gleichlaufschaltungen werden zwei Verfahren näher erläutert, die Steuerung des elektrischen Differentials mit Reluktanzmotoren und die Folgeschaltungen der Siemens-Schuckertwerke (SSW.) mit Ausgleichmaschinen im Feld- und Ankerkreis.

## Die Entwicklung der durch Stromrichter gesteuerten Walzwerksantriebe.

Von Hellmut Bauer in Mannheim.

[Bericht Nr. 79 des Maschinenausschusses des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute<sup>1</sup>.]

(*Ältere Gleichrichteranlagen. Beispiele neuerer Anlagen. Beschreibung der Gleichrichteranlage an den neuen Walzenstraßen der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke.*)

Als die Hüttenwerke in den Jahren 1920 bis 1925 in größerem Umfange dazu übergangen, ihre Walzwerksanlagen durch leistungsfähige elektrische Antriebe auszubauen, wurde schon die Aufstellung von Gleichrichtern zum Speisen von durchlaufenden Walzwerksmotoren ins Auge gefaßt. Der Gleichrichter sollte zum Speisen eines Netzes dienen, an das ein oder mehrere Walzwerksmotoren mit größerem Drehzahlregelbereich angeschlossen wurden.

Es wurden einige Großgleichrichter zum Speisen von Netzen aufgestellt, an die Walzwerksmotoren angeschlossen waren, so z. B. bei der Niederrheinischen Hütte in Duisburg, wo seit dem Jahre 1925 ein Gleichrichter von 6000 A 550 V parallel mit der durch Gasmaschinen angetriebenen Hüttenzentrale arbeitet. Die Gleichrichterspannung wird durch Anzapfungen am Transformator geregelt und kann unter Last mit einem Schalter so eingestellt werden, daß der Gleichrichter stets die Spitzenleistungen übernimmt und somit ein Außertrittfallen der Zentrale verhütet wird.

Durch Einführen der Steuergitter in den Gleichrichter wurde es dann möglich, eine so große Spannungsregelung zu erhalten, wie sie zum Anlassen von Motoren erforderlich ist. Eine derartige Anlage wurde im Jahre 1932 erstellt, bestehend aus vier Glasgleichrichtern zu je 500 A, die zur Stromversorgung und zum gleichzeitigen Anlassen von drei Gleichstromwalzwerksmotoren einer Bandstraße dienen.

Ferner läuft z. B. eine Blech- und Stabstahlwalzwerksanlage, die auf Gleichrichterantriebe umgebaut wurde.

<sup>1</sup>) Vorgetragen in der Gemeinschaftssitzung des Maschinen- und Walzwerksausschusses am 4. November 1938 in Düsseldorf. — Sonderabdrucke sind vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf, Postschließfach 664, zu beziehen.

Ausgehend von diesen Erfahrungen wurde im Jahre 1937 eine weitere Stabstahlwalzwerksanlage, die von Dampf auf elektrischen Antrieb umgestellt wurde, mit Antrieben versehen, die durch Großgleichrichter gesteuert werden und nicht nur ein Anlassen der Motoren, sondern auch eine Drehzahlregelung durch Ändern der Ankerspannung durch Gittersteuerung ermöglichen.

Bild 1 zeigt das Maschinenhaus einer Walzwerksanlage in Werdohl, in dem drei Großgleichrichter für je 1700/3400 A bei 550 V Spannung aufgestellt sind. Je ein Gleichrichter dient zum Speisen eines Walzwerksmotors von 1000/2000 PS Leistung, die unmittelbar mit einem Feinstahlwalzwerk und einer Drahtstraße gekuppelt sind. Ein weiterer 600/1200-PS-Motor treibt das Poliergerüst an. Die Gleichrichter lassen sich beliebig auf jeden Motor umschalten, und es arbeiten auch bei schwachen Belastungen zwei Gleichrichter auf drei Motoren. Das Maschinenhaus ist 18,6 m lang und 13 m breit, dazu kommt der Anbau für die Transformatoren mit 3,8 m Breite. Der Raumbedarf ist also gering.

Bild 2 stellt den 1000-PS-Walzwerksmotor für 200/300 U/min dar, der ohne Schwungrad die Feinstahlwalzenstraße antreibt. Durch Wegfall des großen Anlassers wird der Motorraum klein in seinen Abmessungen. Als ganz besonderer Vorteil hat sich bei dieser Anlage ergeben, daß mit den Gleichrichtern alle Anforderungen des stark wechselnden Walzplans erfüllt werden können. Es müssen viele kleine Aufträge mit besonderen Profilen aus Sonderstahl gewalzt werden, wodurch ein häufiges Anlassen der Antriebsmotoren und eine ständig wechselnde Drehzahlregelung er-



forderlich ist. Die Belastung schwankt in weiten Grenzen und ist durchschnittlich klein. Trotzdem mußte eine besonders gute Wirtschaftlichkeit erreicht werden, weil sogar Lohnwalzungen vorkommen, wobei die Stromkosten von Bedeutung sind.

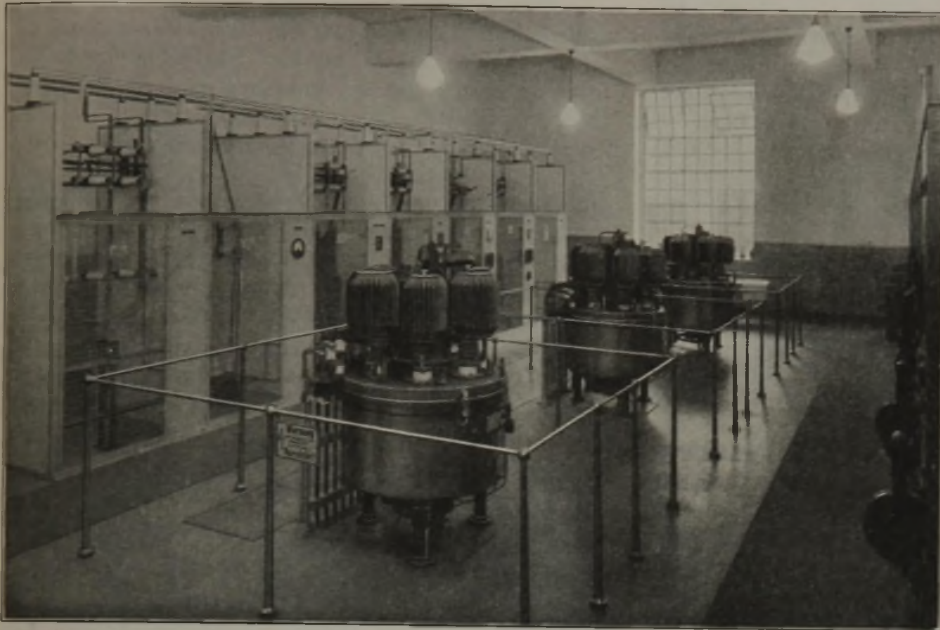


Bild 1. Maschinenhaus mit drei Großgleichrichtern.

Mit der fernbetätigten Gittersteuerung können die Walzwerksmotoren im Tag- und Nachtbetrieb beliebig oft angelassen werden. Nach dem Abstellen stehen die Walzenstraßen in 10 bis 15 s still, so daß dann sofort mit dem Umbau der Walzen begonnen werden kann. Die Befehle werden von der Walzenstraße aus auf die Schalttafel im

Im Jahre 1936 planten die Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke in Gleiwitz den Ausbau ihrer Walzwerksanlagen auf der Herminenhütte in Laband. Zu diesem Zweck sollte eine neuzeitliche leistungsfähige für Massenerzeugung geeignete Grob- und eine Mittelstrecke erstellt werden.

Darüber hinaus sollte durch eine spätere Erweiterung der Anlage auch ein Ausbau des Walzplans möglich sein, ohne daß hierdurch ein größerer Erzeugungsausfall entsteht, der im Hinblick auf den Vierjahresplan ganz vermieden werden sollte.

Aus den gegebenen Verhältnissen heraus mußte darauf Bedacht genommen werden, eine solche Werksanlage zu erstellen, die eine Ausbaumöglichkeit nach allen Seiten hin hat, aber andererseits nur geringe Anlagekosten erfordert, damit der Geldaufwand möglichst bald aus den Betriebsüberschüssen gedeckt werden kann. Die beiden Straßen erhalten ihre Vorblöcke in Stückgewichten bis zu 2300 kg von einem

gemeinsamen Blockgerüst. Die durchschnittliche Stundenleistung soll, beide Straßen durcheinandergerechnet, etwa 40 t betragen.

In zwei neuartigen mit Kohlen ununterbrochen beschickten Oefen von je 30 t Stundenleistung werden die Blöcke angewärmt, durch eine Ausstoßvorrichtung auf den Ofenroll-

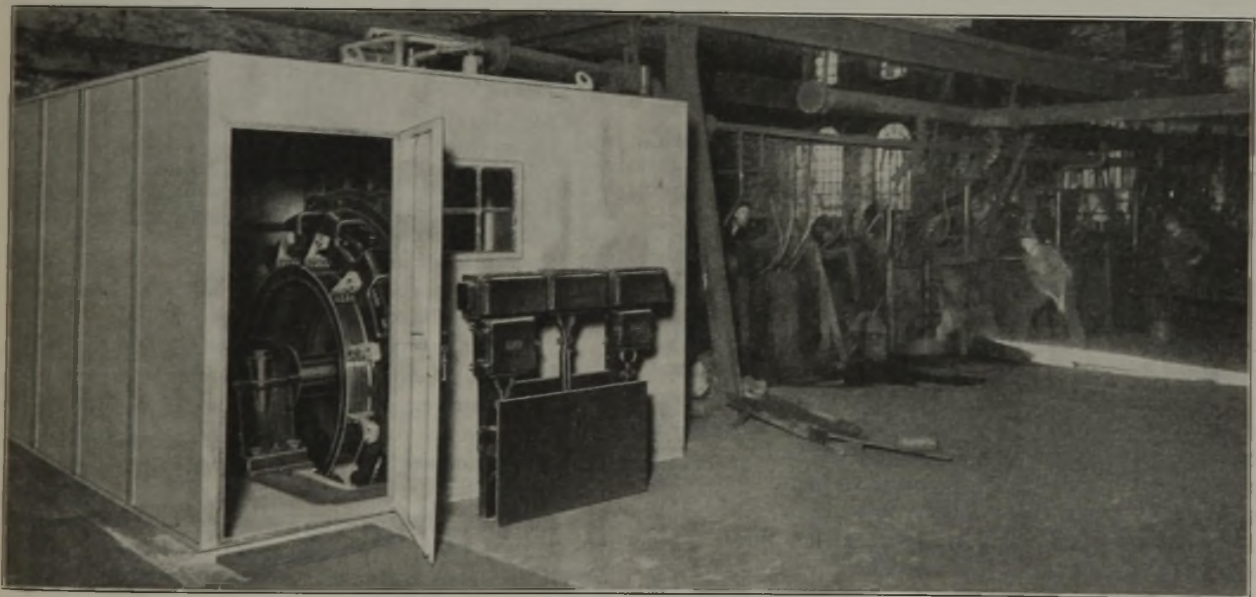


Bild 2. 1000-PS-Walzwerksmotor zum Antrieb einer Feinstahlstraße ohne Schwungrad.

Maschinenhaus übertragen, wobei eine Hupe den Bedienungsmann herbeiruft. Der Leerlaufverbrauch der durch einen 1000-PS-Motor angetriebenen Feinstahlstraße beträgt bei 200 U/min nur 29 kW, wobei zu beachten ist, daß die Straße Kunstharzlager hat. Für weitere Angaben über diese Anlage sei auf eine frühere Beschreibung<sup>2)</sup> hingewiesen.

gang zum Blockgerüst geführt, auf dem sie vorgewalzt werden. Hinter dem Blockgerüst gelangt der vorgewalzte Block zu einer Warmschere, und von dort aus läuft er entweder geradeaus zum ersten Gerüst der 525er Mittelstrecke, oder er wird nach rechts abgeschleppt zum ersten Gerüst der 750er Grobstrecke. Nach dem Auswalzen auf diesen Straßen gelangt das fertige Profil auf das Warmlager und von diesem über einen Abfuhrrollgang in die Zurichterei.

<sup>2)</sup> Stahl u. Eisen 58 (1938) S. 572/74.



Diese allgemeinen Ausführungen sollen dazu dienen, einen Ueberblick über das neue Walzwerk zu geben und das Verständnis für die nachstehenden Ausführungen über die neuen gleichrichtergesteuerten Walzwerksantriebe der Grob- und Mittelstrecke zu erleichtern. Der Walzplan der neuen zweigerüstigen 750er Grobstrecke sieht z. B. Träger bis NP 30 vor. Bei der neuen dreigerüstigen 525er Mittelstrecke sollen z. B. Doppel-T-Träger bis NP 8 herunter ausgewalzt werden. Es stand von vornherein fest, daß hierfür nur schwingradlose Gleichstromantriebe in Frage kamen, die es ermöglichen, die Walzgeschwindigkeit während des Auswalzens zu steigern, zumal da in großen Längen von 80 bis 120 m gewalzt werden sollte. Hierbei tritt leicht eine unzulässige Abkühlung des Walzgutes ein, wenn nicht von Stich zu Stich die Drehzahl gesteigert werden kann.

Bei der Berechnung der Motorleistungen wurde zunächst von ähnlichen Straßen ausgegangen, ohne dabei zu berücksichtigen, daß die Walzgerüste mit Kunstharzlagern versehen werden sollten, die eine erhebliche Kraftersparnis gewährleisten.

Wegen der zu erwartenden Belastungsstöße war ursprünglich die Aufstellung eines Ilgner-Umformers geplant, der in der üblichen Weise ausgebildet werden sollte. Dieser Umformer hätte aus zwei gleichen Hälften mit je einem Drehstromsteueremotor für 6 kV, vier Anlaßgeneratoren und zwei Schwungrädern in der Mitte bestanden, so daß jede Hälfte für sich hätte betrieben werden können. Dabei zeigte sich, daß die Anlagekosten für einen derartigen Schwungradumformer viel zu hoch lagen und daß sich mit Rücksicht darauf, daß die Grob- und die Mittelstrecke nur wechselweise in Betrieb sein sollten, keine befriedigende Wirtschaftlichkeit ergeben konnte.

Andererseits war noch zu berücksichtigen, daß eine Aufstellung des Umformers im Walzwerk bei den Motoren aus räumlichen Gründen nicht in Frage kam. Ein derartiger Schwungradumformer hat eine Länge von etwa 15 m und eine Breite von etwa 5 m, wozu noch der Platzbedarf für die Hoch- und Niederspannungsschaltanlage kommt, ferner für die Erregerumformer, die Lüfter usw. Es wäre also für den Schwungradumformer allein ein Maschinenhaus mit einer Länge von 20 m und einer Breite von 15 m erforderlich gewesen, das nur an der Kopfseite der Halle hätte untergebracht werden können.

Abgesehen davon suchte man nach Mitteln, um die Kosten für den elektrischen Betrieb zu verringern, und dabei gleichzeitig eine günstige Wirtschaftlichkeit zu erreichen, die besonders für diese neue Anlage wegen der weit von den Abnehmern entfernten Lage von größter Bedeutung ist. Das war einerseits möglich durch das Entgegenkommen der Oberschlesischen Elektrizitätswerke, die sich im Hinblick auf ihre große Kraftwerksleistung von 100 000 kW ohne weiteres bereit erklärten, die beim Wegfall des Schwungradumformers auftretenden Stromstöße zu übernehmen, obgleich über ihre Größe noch keine Erfahrungen vorlagen. Es wurde in Laband ein 60-kV-Anschluß mit 15 000 kVA Leistung neu erstellt. Zum Speisen der beiden Walzwerksmotoren wurden nun mit Gittersteuerung versehene Großgleichrichter in Aussicht genommen, wodurch sich, kurz zusammengefaßt, folgende Vorteile ergaben:

1. bessere Wirtschaftlichkeit infolge eines zwischen  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{5}{4}$  Last gleichbleibenden günstigen Gesamtwirkungsgrades von etwa 87% also mit den Motorverlusten, sowie Wegfall der Leerlaufverluste eines Leonard-Umformers und Spannungsverluste in den langen Gleichstromleitungen bei getrennter Aufstellung der Maschinen;

2. der Walzmotor kann durch Gittersteuerung des Gleichrichters stufen- und kontaktlos mit einem Steuerhebel von der Steuerbühne aus angelassen und seine Drehzahl sogar beim Walzen geregelt werden, erreicht also in vollkommener Weise die Steuerfähigkeit eines Antriebes in Leonard-Schaltung;
3. durch Aufstellen eines zweiten Gleichrichters kann die 750er Grobstrecke als Duo im Umkehrbetrieb arbeiten, was namentlich für das Auswalzen schwerer Rundeisen von Vorteil ist;
4. der Platzbedarf einer derartigen gleichrichtergesteuerten Anlage ist so gering, daß die ganzen Antriebe mit zwei Walzmotoren und zwei Gleichrichtern im Walzwerk selbst untergebracht werden können;
5. die schweren Gleichstrom-Verbindungsleitungen benötigen nur eine Länge von 15 bis 25 m, gegen 80 bis 100 m bei einem getrennt aufgestellten Umformer.

Bild 3 zeigt die Anordnung der beiden Walzstraßenantriebe mit den zugehörigen Gleichrichtern im Motorhaus. Die 750er Grobstrecke wird durch einen Gleichstrom-Walzwerksmotor mit einer Dauerleistung von 4000 PS und einer Abschaltleistung von 10 250 PS, entsprechend 100 mt bei  $0 \pm 80$  U/min angetrieben. Durch Feldänderung kann der Motor noch bis auf 160 U/min geregelt werden.

Für den Antrieb der 525er Mittelstrecke ist ein Gleichstrom-Walzwerksmotor mit einer Dauerleistung von 3000 PS und einer Abschaltleistung von 7500 PS, entsprechend 70 mt, aufgestellt bei einer Drehzahl von 0 bis 100 U/min, wobei diese ebenfalls durch

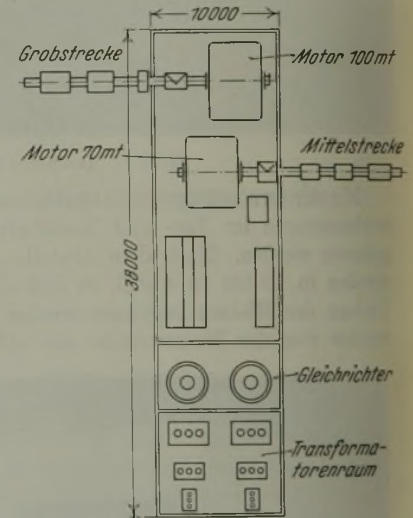


Bild 3. Maschinenhaus einer durch Stromrichter gesteuerten Walzwerksanlage.

240 U/min erhöht werden kann. Die Motoren sind fremd belüftet. Die Frischluft wird über Filter angesaugt, die im Dach der Halle untergebracht wurden.

In der Verlängerung des Motorhauses sind die beiden Großgleichrichter aufgestellt und anschließend die zugehörigen Transformatoren mit ihren Drosselspulen untergebracht. Wie aus dem Bild ersichtlich, beträgt die Breite des Maschinenhauses nur 10 m und die gesamte Länge 38 m, d. h. der Platzbedarf ist etwa gleich groß, wie er für das Maschinenhaus des Schwungradumformers allein erforderlich gewesen wäre. Wesentlich dabei ist die geringe Breite von 10 m. Das Maschinenhaus erhielt eine abnehmbare Decke, um die Beförderung der schweren Teile mit dem darüberlaufenden Krane zu ermöglichen. Sehr wichtig für die Wirtschaftlichkeit der Anlage war die Wahl der Betriebsspannung für die Walzwerksmotoren.

Die zugeführte Drehstromspannung von 6000 V wird durch den Gleichrichtertransformator auf eine für den Gleichrichter passende Wechselstromspannung umgesetzt.

Der Wirkungsgrad eines Gleichrichters wird in der Hauptsache durch die Verluste des Lichtbogenabfalles im Gleichrichter selbst hervorgerufen. Dieser Wert beträgt



stets etwa 20 bis 30 V, und die entsprechenden Verluste sind deshalb um so geringer, je höher die Gleichstromspannung gewählt wird. Bei 1000 V beträgt der Wirkungsgrad 97%, ein Wert, der bei Teillast etwa 20% besser ist als bei einem Umformer. Im vorliegenden Fall wurde die Ankerspannung der Motoren zu 1000 V gewählt, weil es möglich war, durch die entsprechende Ausbildung der Ankerwicklung und des Kollektors eine übliche Lamellen- und Stromwendespannung zu erreichen, die volle Betriebssicherheit des Kollektors gewährleistet. Liegt die Lamellenspannung zu hoch, so kann bei einer betriebsmäßig auftretenden Verschmutzung des Kollektors eine Störung durch Ueberschläge auftreten, die durch sorgfältige Wartung vermieden werden müssen. Wenn auch heute Gleichstromwalzmotoren mit höherer Ankerspannung schon gebaut wurden, so ist doch zu berücksichtigen, daß es sich hierbei um Umkehrbetriebe handelt, die durch Schwungradumformer gespeist werden. Die volle Ankerspannung tritt hier nur kurze Zeit auf, wenn die Motoren gerade einmal mit der höchsten Drehzahl laufen. Bild 4 zeigt, wie trotz des beschränkten Platzes die Aufstellung ungehindert durchgeführt werden konnte.

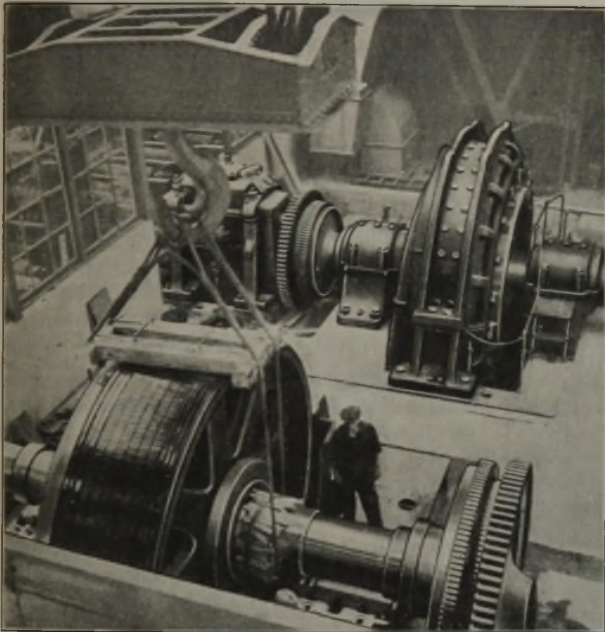


Bild 4. Aufstellung von zwei durch Stromrichter gesteuerten Walzmotoren.

Es sei daran erinnert, daß im Jahre 1936 noch keine Betriebserfahrungen mit derartigen großen schwungradlosen Walzenstraßenantrieben vorlagen, bei denen die Drehzahl mit gittergesteuertem Gleichrichter durch einen Steuerhebel in Leonard-Schaltung geregelt wird. Um so höher ist der Entschluß der Leitung der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke zu bewerten, zum erstenmal derartig große stromrichtergesteuerte Antriebe für 10 000 PS Leistung aufzustellen und damit dem Fortschritt zu dienen. Wie bereits vorher ausgeführt wurde, war es bekannt und erprobt, einen Gleichstrommotor dadurch stoßfrei anzulassen, daß mit der in der Schaltanlage aufgestellten Gittersteuerung, die durch einen Fernantrieb betätigt wurde, die Ankerspannung des Motors allmählich von etwa 20 V Einschaltspannung an auf die volle Betriebsspannung erhöht wurde. Eine derartige Drehzahlregelung der Motoren wäre aber für die beiden neuenschwungradlosen Walzenstraßenantriebe keinesfalls geeignet gewesen, weshalb vorgeschlagen wurde, von der Steuerbühne aus mit einer durch Hebel zu bedienenden Stellvorrichtung die Gittersteuerung des Gleichrichters

unmittelbar zu betätigen. Diese Anordnung hat betriebsmäßig den großen Vorteil, daß der Steuermann auf der Bühne den Motor sozusagen in der Hand hat, d. h. er sieht, wie sich die Drehzahl des Walzwerkes durch Verändern der Steuerhebelauslage einstellt, und kann somit allen Forderungen der Walzer für die Straßendrehzahl sofort nachkommen.

Bei Anwendung eines Motorantriebes für die Steuerung des Walzmotors ist die Regelgeschwindigkeit unabänderlich gegeben. Der Steuermann auf der Bühne hätte in diesem Falle einen Druckknopf zu betätigen und könnte niemals in so weitgehendem Maße sofort die Drehzahl während des Walzens verändern, wie es mit einer Stellvorrichtung möglich ist. Sollte ein Block steckenbleiben, so kann durch Umpolen die Motordrehrichtung umgekehrt und unter Last angefahren werden.

Die Stellvorrichtung enthält den Drehregler für die stufenkontaktlos arbeitende Gittersteuerung des Gleichrichters. Beim Auslegen des Steuerhebels im Bereich „Anlauf“ wird zunächst der Drehregler verstellt, bis die volle Aussteuerung des Gleichrichters und somit die volle Gleichstromspannung erreicht ist, wobei der Motor von Null bis auf seine Normaldrehzahl heraufläuft. Bei der Weiterauslage des Steuerhebels im Bereich „Regeln“ übernimmt der miteingebaute Feldregler die weitere Drehzahlerhöhung des Walzmotors bis auf den höchstzulässigen Wert. Beide Stellvorgänge sind also in starrer Abhängigkeit voneinander, so daß keine Bedienungsfehler und Störungen vorkommen können. Schon in der zweiten Schicht wurden Doppel-T-Träger NP 8 in Längen von über 60 m in einwandfreier Beschaffenheit gewalzt.

Auf der Steuerbühne ist eine Leuchttafel angebracht, auf der die verschiedenen Befehle für den Steuermann aufleuchten. Außerdem wird hierdurch das ordnungsgemäße Arbeiten der Anlage überwacht, z. B. kurz vor Erreichen der größten Motorleistung leuchtet eine Warnlampe „Langsamer walzen“ auf. Hierdurch wird ein Abschalten des Antriebes durch Ueberschreiten des höchsten Betriebsstromes vermieden. Ein Stromzeiger und ein Drehzahlanzeiger erleichtern das Beobachten der Arbeitsweise des Antriebes.

Wegen des zur Zeit nur wechselweisen Betriebes der beiden Straßen wurde zunächst nur eine Gleichrichteranlage in Betrieb genommen, die umschaltbar auf beide Motoren ist. Der Großgleichrichter ist in der bewährten Bauart mit wassergekühltem Eisengefäß ausgeführt, wodurch sich von selbst eine hohe Betriebssicherheit ergibt. Messungen bei der Inbetriebsetzung haben gezeigt, daß der Leerlauf der 525er Straße nur 50 kW beträgt. Noch vor Ende des Jahres 1938 wird zum vollen Ausbau der elektrischen Anlage der zweite Gleichrichter aufgestellt werden, und dadurch ergibt sich die bereits erwähnte Möglichkeit, betriebsmäßig den Antriebsmotor der 750er Grobstraße im Umkehrbetrieb zu betreiben, was bei einem Motor mit einer Abschaltleistung von 10 250 PS für eine derartige Straße zum erstenmal der Fall sein wird.

Diese Walzwerksanlage der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke zeigt am besten die Entwicklung der durch Stromrichter gesteuerten Walzwerksantriebe, die es in Zukunft bei günstigen Anschlußbedingungen ermöglichen, als Ersatz für schwere und teure Schwungradumformer zu dienen, wobei sich noch wesentliche technische und wirtschaftliche Vorteile ergeben. Schon in den Jahren 1934/35 wurde mit einem 1000-kW-Motor die Drehzahlumsteuerung mit zwei Gleichrichtern in Kreuzschaltung im Prüffeld



durchgeführt, wobei sich vor allen Dingen die Tatsache ergab, daß das Umsteuern durch das trägheitslose Arbeiten der Gleichrichter so schnell wie gewünscht möglich ist.

Bild 5 zeigt das Oszillogramm des Umkehrvorganges unter Verwendung von zwei Stromrichtern, die in Kreuzschaltung arbeiten. Bei diesen Versuchen zeigte sich die an und für sich nicht überraschende Tatsache, daß die im Netz auftretenden Stromstöße von der Kürze der verlangten Beschleunigungszeit abhängig sind, d. h. also,

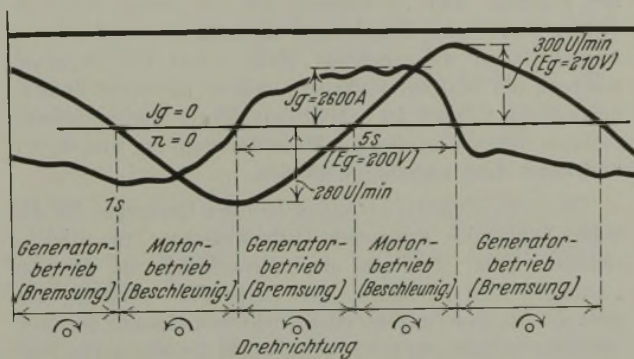


Bild 5. Motorstrom und Motorspannung (Drehzahl) beim Umkehrbetrieb.

je schneller der Motor gesteuert und seine Drehzahl geändert wird, desto größer sind die Stromstöße im Netz, die durch die größer werdende Beschleunigungsleistung auftreten. Es muß deshalb bei Verwendung von stromrichter-gesteuerten Walzwerksantrieben darauf geachtet werden, daß die Drehzahl nicht schneller als betriebsmäßig nötig

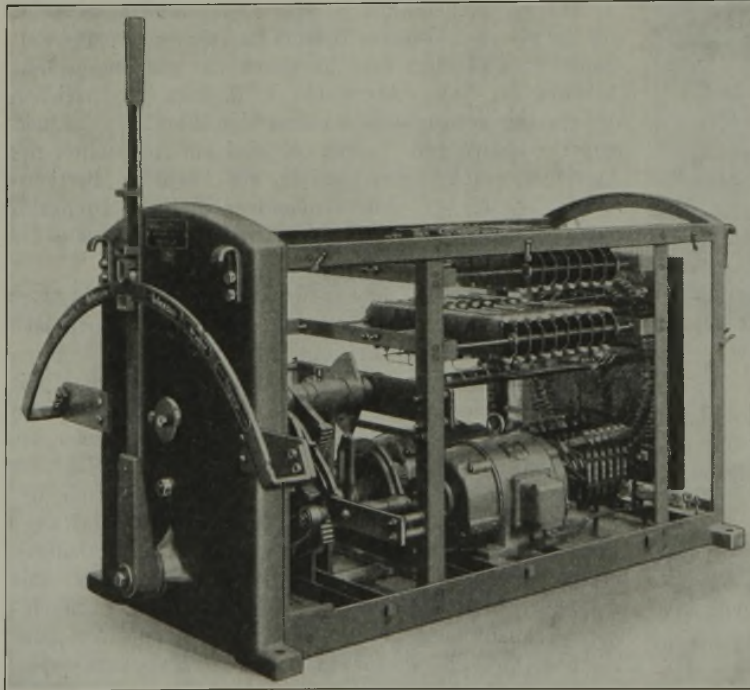


Bild 6. Steuergerät für Umkehrbetrieb des Walzmotors der Grob-  
strecke.

geändert wird, um die Beschleunigungsleistung und damit die Stromstöße im Netz auf zulässige Werte zu begrenzen. Es ist bei Verwendung einer besonders durchgebildeten Steuerung ohne weiteres möglich, die größten Stromspitzen zu verringern und damit von der Aufmerksamkeit des Steuermannes unabhängig zu machen. Beispielsweise ergibt die Rechnung für einen schwungradlos arbeitenden Antriebsmotor mit einer Abschaltleistung von 11 000 kW Stöße bis

zu 13 000 kVA. Bei einem gewöhnlichen Walzbetrieb sind aber die durchschnittlich auftretenden Spitzen nur 7000 bis 4000 kVA bei einer Dauer von 10 bis 5 s. Daraus geht hervor, daß eine derartige gleichrichtergesteuerte Walzwerksanlage sehr wohl an ein Netz von 100 kV entsprechender Leistung angeschlossen werden kann, ohne daß sich unzulässige Spannungsschwankungen durch die auftretenden

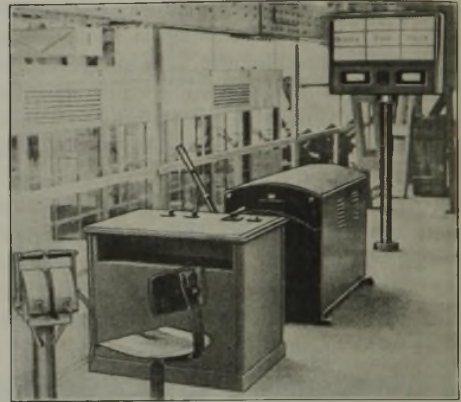


Bild 7. Steuerstand eines durch Stromrichter gesteuerten Umkehrwalzantriebes.

Stöße ergeben, wenn diese entsprechend den vorerwähnten Ausführungen begrenzt werden.

Es ist heute noch nicht möglich, Angaben über die Ergebnisse des Umkehrbetriebes dieser Anlage zu machen, da die Versuche erst Anfang des Jahres 1939 beginnen können; jedoch sei erwähnt, daß es beispielsweise jetzt möglich ist, den Antriebsmotor der 525er Mittelstrecke in 1 bis 2 s von 0 auf 100 U/min durch Auslegen des Steuerhebels auf der Steuerbühne anzulassen, ohne daß sich hierdurch etwas Nachteiliges zeigt, oder ein zu hoher Strom auftritt, der den Antrieb abschaltet.

Auf Bild 6 ist ein Steuergerät für Umkehrbetrieb des Walzmotors der Grob-  
strecke mit zwei Gleichrichtern dargestellt. In diesem Falle sind die beiden Induktionsregler für die Gittersteuerung über Zahnräder gekuppelt im Gehäuse untergebracht. Die beiden Gefäße arbeiten wechselweise als Stromrichter oder Wechselrichter, je nachdem ob der Motor angelassen oder abgebremst wird. Durch das Fehlen des Schwungrades an der Straße ist die erforderliche Bremsleistung gering.

Der Motor der Grob-  
strecke mit 100 mt Abschaltleistung kann in jeder Drehrichtung durch den im Steuergerät eingebauten Feldregler noch in seiner Drehzahl von 80 auf 160 U/min durch Feldänderung erhöht werden. Die Steuerung arbeitet zwangsläufig, so daß Bedienungsfehler ausgeschlossen sind, wie sie bei getrennter Aufstellung der Gitterspannungs- und der Feldregler möglich wären.

Durch Anwendung einer entsprechenden Umschalteinrichtung kann die 750er Straße auch nur in einer Drehrichtung arbeiten mit beliebiger Drehzahlregelung beim Walzen.

Bild 7 zeigt die Steuerbühne mit der Steuervorrichtung für den Umkehrantrieb der 750er Grob-  
strecke. Auch auf diesem Steuerstand ist ein Leuchtbild für die eintreffenden Signale vorhanden. Bemerkenswert ist ferner



die Möglichkeit, jeden Gleichrichter auf die beiden Motoren umzuschalten, oder beide Motoren im laufenden Betrieb gleichzeitig zu betreiben, wodurch sich große betriebliche Vorteile ergeben. Werden z. B. an der Grobstrecke die Walzen ausgebaut, so kann schon auf der Mittelstrecke gewalzt werden. Nach Beendigen der Arbeiten an der Grobstrecke kann auch hier der Betrieb unabhängig von der Mittelstrecke aufgenommen werden.

Der Leerlaufverbrauch der beiden Straßen ist gering, und auch der Kraftverbrauch je Tonne erreicht günstige Werte. Zu beachten ist ferner, daß auch der Leistungsfaktor der Anlage durchschnittlich 0,8 bis 0,9 beträgt, also ebenfalls günstig ist.

#### Zusammenfassung.

Bei der Herminenhütte der Vereinigten Oberschlesischen Hüttenwerke wurden zum ersten Male zwei Gleichrichter zum Antrieb zweier schwerer schwingradloser Straßen mit Motorleistungen bis 10 000 PS aufgestellt; dies brachte

technische und preisliche Vorteile, die deutlich zeigen, welche Fortschritte durch die Entwicklung der stromrichter-gesteuerten Walzwerksantriebe erzielt werden können. Die bei Umkehrbetrieb im Netz auftretenden Stöße können durch eine entsprechende Steuerung in ihrer Höhe begrenzt werden. Die gesamten Anlagekosten gegenüber den früher üblichen Antrieben mit Umformern sind geringer, der Platzbedarf kleiner und der Stromverbrauch je Tonne Walzgut niedriger. Auch die Steuerfähigkeit der Antriebsmotoren durch Handhebel ist im gleichen Bereich wie bei einem Leonard-Antrieb möglich. Bei Vorhandensein eines der Leistung des Antriebes entsprechenden Netzes sollte daher in Zukunft stets auch die Aufstellungsmöglichkeit eines stromrichtergesteuerten Walzwerksantriebes untersucht werden. Das ist auch volkswirtschaftlich von Bedeutung, weil durch das geringe Gewicht einer Gleichrichteranlage erhebliche Mengen von wertvollem Werkstoff, besonders Kupfer, eingespart werden.

## Umschau.

### Stromrichteranlagen für Walzwerksantriebe.

In einer bemerkenswerten Arbeit schildern H. Anschütz und H. Opitz<sup>1)</sup> die Fortentwicklung der Stromrichteranlagen; sie behandeln zunächst die Zweckmäßigkeit ihres Einsatzes bei durchlaufenden Walzenstraßen. Zum Beweis wird an Hand eines Leistungsschreiber-Meßstreifens vom Antriebe einer kontinuierlichen 500er Knüppelstraße der Stromverbrauch für eine Leistung von 90 t/h bei Anwendung eines Leonard-Umformers zu 25,7 kWh/t gegenüber 23,3 kWh/t für den Stromrichter errechnet, was bei nur 2400 Betriebsstunden im Jahr und einem Strompreis von 0,02  $\mathcal{R}$ /kWh bereits eine jährliche Ersparnis von rd. 10 000  $\mathcal{R}$  an Energiekosten für den Stromrichter ergeben würde.

Als Ausführungsbeispiel wird eine Anlage mit zwei Stromrichtern von insgesamt 2700 A Dauerstrom und 5400 A Höchststrom zur Speisung der Antriebsmotoren eines Bandstahlwalzwerkes mit 600 V erwähnt. Die Gleichrichter sind dabei mit einer Gittersteuerung zum Anlassen der Walzmotoren und zur dauernden Drehzahlregelung um 10% abwärts ausgerüstet. Eine andere Stromrichteranlage für 2670 A Dauerstrom und 5340 A Höchststrom bei 750 V ist für den Antrieb einer Blechstraße ausgeführt worden und speist zwei Walzmotoren von je 890 kW Dauer und 1780 kW Höchstleistung bei 450/900 U/min. Die Spannung ist wiederum im ganzen Bereich kurzfristig regelbar, um die Motoren anzufahren, und dauernd regelbar um 10% abwärts. Wengleich die Gittersteuerung eine Regelung über den ganzen Spannungsbereich gestattet, beschränkt man sich im allgemeinen auf die Ausnutzung eines kleinen Teilgebietes, um den mit der Spannungsminderung etwa proportional sinkenden Leistungswert nicht allzusehr zu verschlechtern. Braucht man einen größeren Regelbereich, so führt man lieber eine Regelung in großen Stufen durch Anzapfungen am Umspanner durch und nur die Regelung innerhalb dieser Stufen durch das Steuergitter des Gleichrichters.

Durch Umschaltung ist es auch möglich, in einem Gefäß mit der Gittersteuerung eine Nutzbremmung und eine Umkehr der Walzmotor-Drehrichtung zu erreichen; jedoch ist diese Einrichtung wegen ihrer begrenzten Schalthäufigkeit nur für verhältnismäßig seltenes Schalten geeignet. Für die eigentlichen Walzwerks-Umkehrantriebe bleibt die Schaltung mit zwei Strom-

die beiden Stauchwalzen eines Universalgerüsts, dessen Hauptwalzen von einer Dampfmaschine angetrieben werden, mit dieser im Gleichlauf zu halten, und zwar bei allen sich im Walzbetrieb ergebenden Drehzahlverhältnissen. Der Gleichlauf wird dadurch gesichert, daß in Abhängigkeit von der Dampfmaschine die nahezu trägheitslos jedem Kommando folgende Gittersteuerungseinrichtung der Stromrichter und damit die Drehzahl der Walzmotoren beeinflußt wird. Die Anlage arbeitet bereits seit langem zur Zufriedenheit des Hüttenwerkes.

Die Betriebserfahrungen mit den bisher zur Walzmotoren-speisung und -regelung erstellten Stromrichteranlagen haben stets die bei der Planung erhofften Vorteile voll bestätigt. Die hohe Wirtschaftlichkeit der Stromrichter gegenüber den früher gebräuchlichen Maschinenumformern ergibt eine nennenswerte Senkung des Arbeitsaufwandes für den Walzvorgang. Dazu kommen die hohe Betriebssicherheit und die genaue Beherrschung schneller Regelvorgänge, so daß der Stromrichter-Gleichstromantrieb für Walzwerksanlagen, insbesondere für durchlaufende Straßen mit weitgehenden Drehzahlregel-Anforderungen, zur bevorzugten Lösung wird. Wenn dabei auch das Hauptanwendungsgebiet der Stromrichter für Walzwerksantriebe vor allem die größeren Anlagen darstellen, so haben sich doch bei einigen Antrieben mit geringerem Leistungsbedarf die Klein-Eisenstromrichter und selbst die Glasgleichrichter ebenfalls als vorteilhaft erwiesen.

### Der Eisenerzbergbau bei Freiburg (Breisgau).

Im Rheintalgraben bei Freiburg sowie nördlich und südlich davon sind kleinere Juraschollen vorhanden, in denen auch eisenerzführende Doggerschichten anstehen. Die Vereinigten Stahlwerke haben Anfang 1937 diese Schichten untersucht und dabei festgestellt, daß hier stellenweise flach gelagerte Eisenerzflöze von 2 bis 6 m Mächtigkeit vorkommen. Auf Grund der Ergebnisse wurden vom badischen Staat Konzessionen zum Abbau dieser Eisenerze erworben und die Aufschlußarbeiten sofort und mit Nachdruck begonnen. Trotz der schwierigen Beschaffung von Maschinen und Bergleuten gelang es bald, die Förderung und den Versand der Erze in bedeutendem Umfang aufzunehmen.

Zahlentafel 1. Betriebsangaben für den Eisenerzbergbau bei Freiburg (Breisgau).

	Erzförderung*) in t	Belegschaft		Fe %	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MnO %	MgO %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	Nässe %
		Arbeiter	Angestellte								
Grube Kahlenberg . . .	rd. 24 100	459	19	19 bis 21	16 bis 18	4 bis 5	22 bis 24	0,20	1,00	1,00	6,00
Grube Schönberg . . .	rd. 28 100	575	45	20 bis 22	15 bis 17	5 bis 6	21 bis 23	0,20	1,20	0,70	6,70

\*) Im Monat November 1938.

richtergefäßen übrig mit den schon aufgeführten Vor- und Nachteilen. Als Beispiel für den vorteilhaften Einsatz einer gittergesteuerten Stromrichteranlage mit zwei Gefäßen wird eine für ein westdeutsches Hüttenwerk gelieferte Anlage erwähnt. Es war in diesem Fall die Aufgabe gestellt, die Antriebsmotoren für

Im wesentlichen handelt es sich dabei von Norden nach Süden um folgende Vorkommen:

1. Grube Kahlenberg bei Herbolzheim, mit der im Aufschluß begriffenen Nebenabteilung Röthelberg,
2. Grube Schönberg bei St. Georgen/Freiburg, mit der im Aufschluß begriffenen Nebenabteilung Bollschweil bei Bad Krozingen.

<sup>1)</sup> AEG-Mitt. 1939, S. 55/59.



Die Lage der Gruben geht aus Bild 1 hervor.

Erzförderung, Belegschaftsbestand und Durchschnittszusammensetzung dieser beiden Vorkommen im Monat November 1938 sind aus *Zahlentafel 1* (s. S. 201) ersichtlich.

In seiner mechanischen Beschaffenheit weicht das Erz von den sonstigen badischen Doggererzen bei Zollhaus Blumberg und Gutmadingen ab; es ist stückiger und härter, was mit dem Kalküberschuß zusammenhängt. Außerdem hat es keinen so ausgesprochen oolithischen Aufbau. Das Eisenerz kommt als Roteisenstein in so inniger Verwachsung mit Kalk vor, daß alle Aufbereitungsverfahren, die zur Anreicherung des Erzes versucht wurden, gescheitert sind.

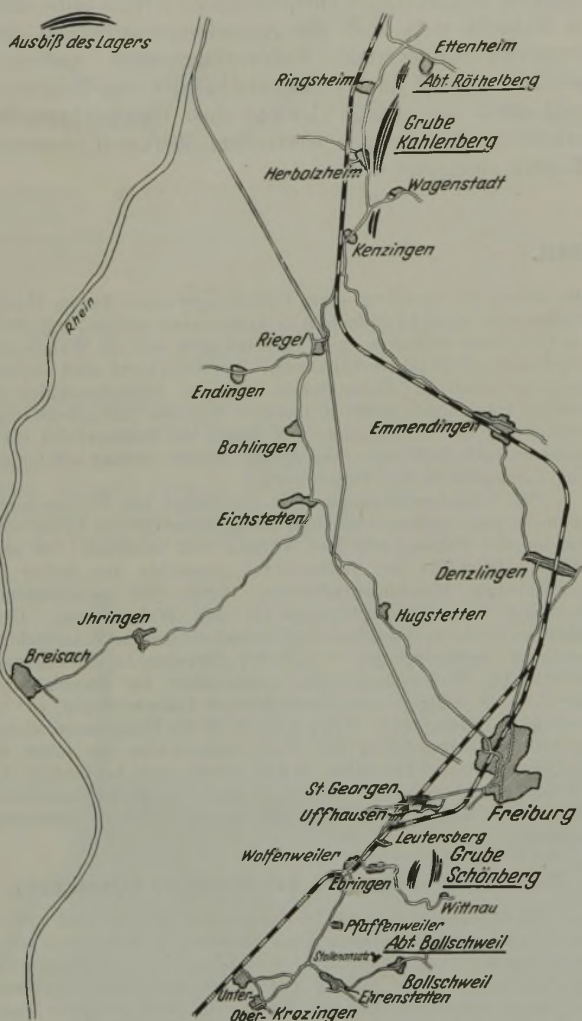


Bild 1. Eisenerzvorkommen bei Freiburg (Breisgau).

Die Gewinnung der Erze erfolgt, soweit es sich um das Ausgehende des Lagers handelt, im Tagebau und in den tiefer liegenden Lagerteilen im Tiefbau. Der Abbau im Tiefbau wird stark durch zahlreiche Verwerfungen, die mit dem Rheintalgraben zusammenhängen, gestört.

Die gewonnenen Erze sollen in Brech- und Siebanlagen auf 80 mm gebrochen und dann auf 10 mm abgesiebt werden. Der Anteil des Feinerzes unter 10 mm dürfte bei 25% liegen. Da die Brech- und Siebanlagen gegenwärtig erst im Bau begriffen sind, wird das Erz bis zu ihrer Inbetriebnahme in ungebrochenem Zustande, so wie es im Tage- und Tiefbau anfällt, versandt. Es wird in den Ruhrhütten der Vereinigten Stahlwerke verarbeitet. Der Versand dorthin erfolgt zur einen Hälfte auf dem Schienen- und zur anderen Hälfte auf dem gebrochenen Wege, wobei die Erze durch die Reichsbahn von der Grube nach dem Hafen Kehl gebracht und hier in Rheinkähne umgeschlagen werden. Die Gruben und Schürfbetriebe unterstehen den Rohstoffbetrieben der Vereinigten Stahlwerke, Bergverwaltung Süddeutschland, Freiburg.

### Festigkeit und Verformbarkeit von Stahlguß während der Abkühlung aus dem flüssigen Zustand in Sandformen.

In Fortsetzung seiner früheren Arbeit<sup>1)</sup> berichtet H. F. Hall<sup>2)</sup> über weitere Versuche mit im Hochfrequenzofen erschmolzenen Stählen. Die Versuche wurden mit der in der früheren Arbeit beschriebenen Prüfeinrichtung durchgeführt, die es gestattet, mehrere in einem Formkasten abgegossene Probestäbe nach bestimmten Zeiten zu zerreißen und die Zugfestigkeit und Dehnung in den ersten Zeiträumen der Abkühlung zu bestimmen. Gleichzeitig wurde die Temperatur der Probe an der Oberfläche und im Kern gemessen.

Der Einfluß eines Mangangehaltes von 0,35 bis 2,2% wurde an vier Stahlgüssen mit 0,17% C, 0,11 bis 0,38% Si, 0,030% P, 0,003% S untersucht. Ein Stahl mit 0,35% Mn erreicht bei 1370° eine nennenswerte Dehnung. Die Temperatur liegt höher als die in der früheren Arbeit ermittelte. Hall führt dies auf den niedrigen Kohlenstoffgehalt des Stahlgusses zurück und folgert, daß steigender Mangangehalt in unlegierten Stählen mit 0,15 bis 0,20% C die Temperatur des Beginns der Dehnbarkeit herabsetzt. Unterhalb dieser Temperatur erfahren Stähle mit höherem Mangangehalt ein rascheres Anwachsen der Zugfestigkeit und Dehnung als die niedriger manganlegierten Stähle. Der Einfluß von Mangan in Stählen mit 0,35 bis 0,45% C wurde nicht untersucht. Dagegen zeigen Untersuchungen mit hochgekohlten Stählen in Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen, daß hoher Kohlenstoff- und Mangangehalt die Temperatur des Beginns der Dehnbarkeit etwas erniedrigt.

Der Einfluß von Schwefel wurde an zwei unlegierten Stählen mit 0,12% C, 0,14% Si, 0,52% Mn, 0,03% P, 0,07% S bzw. 0,17% C, 0,20% Si, 0,65% Mn, 0,03% P, 0,14% S geprüft. Ein Schwefelgehalt von 0,07% in dem ersten Stahl erniedrigt die Temperatur, bei der erstmalig Dehnbarkeit auftritt. Bei einem Schwefelgehalt von 0,14% wurde keine Dehnung bis zu 1200° festgestellt. Die Zugfestigkeit bei dieser Temperatur betrug nur 0,9 kg/mm<sup>2</sup>, also etwa die Hälfte von der des Stahles mit 0,07% S bei gleicher Temperatur.

Von hochlegierten Stahlgußarten zeigte Stahlguß mit 12% Mn oberhalb 1250° eine beträchtliche Zugfestigkeit, aber geringere Dehnung. Chromstahl mit 30% Cr hatte eine sehr geringe Festigkeit und keine Dehnbarkeit oberhalb 1200°, dagegen wies Stahlguß mit 13% Cr einen starken Anstieg von Festigkeit und Dehnung zwischen 1250 und 1200° auf.

An drei unlegierten Stahlgußarten mit 0,23, 0,24 und 0,29% C wurde der Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit untersucht. Bei verminderter Belastungsgeschwindigkeit ist die Zugfestigkeit bei einer gegebenen Temperatur geringer. Erfolgt die Prüfung solange noch keine Dehnbarkeit vorhanden ist, so tritt, unabhängig von der Belastungsgeschwindigkeit, der Bruch in jedem Falle sofort ein.

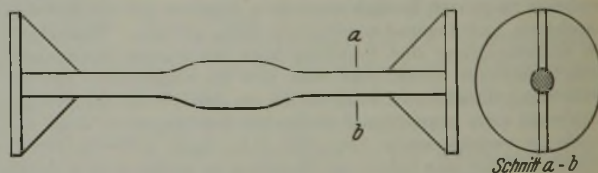


Bild 1. Probestab zur Prüfung der Empfindlichkeit für Schwingungsrisse.

Als Folgerung aus den vorstehenden Zugversuchen führte Hall eine Prüfung auf Warmrißempfindlichkeit durch und entwickelte dazu den in Bild 1 wiedergegebenen Probestab. In der Mitte ist der Probestab verdickt, um die Abkühlungsgeschwindigkeit dort gegenüber den übrigen Stellen zu verringern. Die Stabenden sind mit Flanschen versehen, die die Schwindung behindern und dadurch Spannungen erzeugen. Ein Abreißen der Flanschen wird durch die angebrachten Rippen vermieden. Der Radius am Übergang zu der verstärkten Stelle betrug das Dreifache des Stabdurchmessers. Durch Vorversuche wurde festgestellt, daß das Auftreten von Rissen von dem Verhältnis der Länge des verstärkten Stabteiles zur Stablänge und vom Verhältnis der Durchmesser des verstärkten Querschnittes und des Stabes abhängig ist. Zur Untersuchung diente in einem 2-t-Konverter erschmolzener unlegierter Stahl mit rd. 0,43% C, 0,24% Si, 0,80% Mn, 0,03% P, 0,03% S. Bei liegend gegossenen Stäben befand sich der Einguß an der Kante des

<sup>1)</sup> Second Report of the Steel Castings Research Committee. London 1936 (Spec. Rep. Iron Steel Inst. Nr. 15). S. 65/93. Vgl. Stahl u. Eisen 57 (1937) S. 823.

<sup>2)</sup> Third Report of the Steel Castings Research Committee. London 1938 (Spec. Rep. Iron Steel Inst. Nr. 23). S. 73/86.



einen Flansches; am anderen Ende war ein Steiger angebracht. Außerdem wurden Stäbe stehend gegossen, wobei nur im oberen Flansch ein schmaler Luftkanal vorgesehen war. Hall weist darauf hin, daß auch die Eigenschaften der Form, besonders die Festigkeit des Formsandes, von Bedeutung war. Durch bestimmte Prüfungen wurden diese Eigenschaften überwacht und gleichmäßig gehalten. Bei der Gruppe der waagrecht gegossenen Proben, bei der die Probestablänge bei gleicher Länge und gleichem Durchmesser des verstärkten Teiles verschieden gehalten war, traten bei allen Stäben Risse ein, die um so mehr auseinanderklafften, je länger der Stab wurde. Ein 560 mm langer Stab mit 12,7 mm Dmr. ohne jede Querschnittsverstärkung zeigte keinen RiB. Weiter wurden Stäbe mit 12,7 mm Dmr. bzw. 19 mm Dmr. am verstärkten Teil untersucht, bei denen die Länge des verstärkten Teiles bei gleicher Stablänge verschieden gehalten war. Ein Reißen trat ein, wenn die Länge der Verstärkung kleiner als die halbe Stablänge war. Ferner wurden der Durchmesser und die Länge des verstärkten Teiles bei Stäben mit 12,7 mm Dmr. verschieden gehalten. Die Stäbe rissen bei allen Querschnittsverstärkungen, deren Durchmesser größer als 16,5 mm war. Bei diesem Durchmesser trat

nur bei kurzer Verstärkung der RiB auf, nicht aber bei langer. Bei einem Durchmesser des verstärkten Teiles unter 16,5 mm war in keinem Falle RiBbildung zu verzeichnen. Die Untersuchung der senkrecht gegossenen Probestäbe zeigte ähnliche Ergebnisse. Bei Querschnittsverstärkungen unter 19 mm Dmr. trat bei einer Länge des verstärkten Teiles von 122 mm kein RiB auf. Wurde diese Länge auf 69 mm verringert, so zeigte sich ein Versagen bei 16,5 mm Dmr. In einer weiteren Versuchsreihe wurden acht Proben mit verschiedenen Abmessungen gleichzeitig mit einem gemeinsamen Einguß und gleichen Anschnitten stehend gegossen. Dieses „Viel-Proben-Gußstück“ erscheint Hall geeignet, die Anfälligkeit für Schwindungs- und Warmrisse zu prüfen.

Die Arbeit von Hall kann als ein bemerkenswerter Beitrag zur Klärung der Vorgänge bei der Erstarrung des Stahles angesehen werden. Wie Hall selbst anführt, dürfte aber noch eine große Anzahl Untersuchungen notwendig sein, um hier alle Vorgänge zu erfassen. Ebenso müßte durch Untersuchungen an mehreren Stahlgußarten und einer großen Anzahl von Schmelzen geprüft werden, wieweit das angeführte „Viel-Proben-Gußstück“ eine brauchbare Betriebsprobe zur Prüfung der RiBempfindlichkeit des Stahlgusses darstellt.

Hubert Juretzek.

## Patentbericht.

### Deutsche Patentanmeldungen<sup>1)</sup>.

(Patentblatt Nr. 6 vom 9. Februar 1939.)

Kl. 7 a, Gr. 5/02, K 142 486. Walzwerk zum Auswalzen von breitem Walzgut mit einer verschiebbaren Preß- oder Klemm- vorrichtung. Fried. Krupp Grusonwerk, A.-G., Magdeburg-Buckau.

Kl. 7 a, Gr. 5/02, S 128 608. Backenbremse für Bandwalz- werke. Erf.: Erich Neuhaus, Hemer-Sundwig. Anm.: Sundwiger Eisenhütte Maschinenfabrik Grah & Co., Sundwig (Kr. Iserlohn).

Kl. 7 a, Gr. 14/02, D 73 690. Maßwalzwerk für Rohre. Erf.: Dr.-Ing. Fritz Kocks, Düsseldorf. Anm.: Demag, A.-G., Duisburg.

Kl. 7 a, Gr. 17/02, D 74 526. Einrichtung zum Drehen des Dorngestänges der Vorholvorrichtung von Pilgerschrittwalz- werken. Erf.: Dipl.-Ing. Rudolf Hartjenstein, Düsseldorf. Anm.: Deutsche Röhrenwerke, A.-G., Düsseldorf.

Kl. 7 a, Gr. 22/03, K 143 616. Walzwerk, insbesondere mehr- gerüstiges Walzwerk, z. B. zur Herstellung von Draht und Fein- eisen. Fried. Krupp Grusonwerk, A.-G., Magdeburg-Buckau.

Kl. 7 a, Gr. 24/01, D 74 867. Fördervorrichtung zum unbehinderten Zu- und Abgang zweier Walzgutstücke bei Umkehr- walzwerken. Erf.: Dipl.-Ing. Eugen Hinderer, Duisburg. Anm.: Demag, A.-G., Duisburg.

Kl. 7 a, Gr. 26/01, D 75 401. Kühlbett für Walzwerke. Erf.: Ludwig Wegmann, Duisburg. Anm.: Demag, A.-G., Duisburg.

Kl. 7 a, Gr. 26/01, K 145 665. Rechenkühlbett für gestapeltes, insbesondere streifenförmiges Walzgut. Fried. Krupp Gruson- werk, A.-G., Magdeburg-Buckau.

Kl. 7 b, Gr. 5/01, D 74 400. Wickelvorrichtung für band- förmiges Walzgut. Erf.: Anton Lanwehr, Duisburg. Anm.: Demag, A.-G., Duisburg.

Kl. 7 b, Gr. 5/01, Sch 107 520. Verfahren zum selbsttätigen Aufwickeln von Bandseilen. Schloemann, A.-G., Düsseldorf.

Kl. 7 c, Gr. 2, S 115 981. Vorrichtung zum Herstellen von Wellblechen. Siemens-Schuckertwerke, A.-G., Berlin-Siemens- stadt.

Kl. 18 c, Gr. 11/10, W 97 509. Verfahren und Ofen zum Glühen von Blechstapeln u. dgl. Lee Wilson, Cleveland, Ohio (V. St. A.).

Kl. 31 c, Gr. 18/01, D 77 039; Zus. z. Pat. 612 215. Aus- kleidungsmasse für Schleudergußformen. Erf.: Max Langenohl und Heinrich Projahn, Gelsenkirchen. Anm.: Deutsche Eisen- werke, A.-G., Mülheim (Ruhr).

Kl. 49 c, Gr. 13/03, N 39 449. Selbsttätige Schere zum Ab- trennen des Endes von laufendem Walzgut. Neunkircher Eisen- werk, A.-G., vormals Gebrüder Stumm, Neunkirchen (Saar).

Kl. 49 i, Gr. 16, D 72 989. Verfahren zur Herstellung von Schleudergußmuffenkokillen. Deutsche Eisenwerke, A.-G., Mül- heim (Ruhr).

### Deutsche Gebrauchsmuster-Eintragungen.

(Patentblatt Nr. 6 vom 9. Februar 1939.)

Kl. 7 a, Nr. 1 456 714. Vorrichtung zum Auswalzen des Pilgerkopfes. Mannesmannröhren-Werke, Düsseldorf.

<sup>1)</sup> Die Anmeldungen liegen von dem angegebenen Tage an während dreier Monate für jedermann zur Einsicht und Ein- sprucherhebung im Patentamt zu Berlin aus.

Kl. 7 a, Nr. 1 456 926. Führungskasten für Walzwerke, insbesondere für Schnell- und Feinströßen. Bochumer Verein für Gußstahlfabrikation, A.-G., Bochum.

Kl. 7 c, Nr. 1 456 695. Blechrichtmaschine. Wagner & Co., Werkzeugmaschinenfabrik m. b. H., Dortmund.

Kl. 18 c, Nr. 1 456 808. Gasbrenner mit umschaltbarer Mischströmung. Blank & Flemmig, Industrieofenbau — Boyeöfen, Berlin-Kaulsdorf.

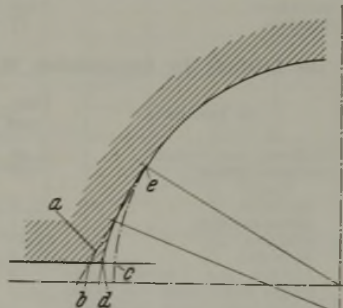
Kl. 42 k, Nr. 1 456 740. Einrichtung zur Sichtbarmachung und Messung von mechanischen Spannungen auf optischem Wege. Dr. phil. Ludwig Föppl, München.

Kl. 47 b, Nr. 1 456 706. Lager aus Kunstharzpreßstoff. Gustav Schwartz o. H., Düsseldorf-Rheinhof.

### Deutsche Reichspatente.

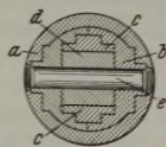
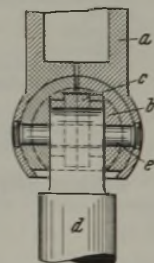
Kl. 7 a, Gr. 16<sub>01</sub>, Nr. 666 957, vom 27. Januar 1937; ausge- geben am 1. November 1938. Mannesmannröhren-Werke in Düsseldorf. (Erfinder: Albert Calmes in Buß, Saar.) *Pilger- walzenkalibrierung.*

Die bisher übliche Ab- schrägung ist als Gerade a strichpunktirt angedeutet und schneidet den Kaliber- rand im Punkt b. Der theo- retische Kaliberkreis ist ge- strichelt und schneidet die Verlängerung des Kaliber- randes im Punkt c. Die kon- kav zum Kaliber liegende Kurve in Gestalt eines Kreis- bogens ist stark ausgezogen und schneidet den Kaliber- rand im Punkt d zwischen den Punkten b und c; sie setzt etwa an der gleichen Stelle e an, an der auch sonst die Abschrägung beginnt.



Kl. 7 a, Gr. 20, Nr. 667 124, vom 4. Juli 1936; ausgegeben am 4. November 1938. Fried. Krupp A.-G. in Essen. (Erfin- der: Dipl.-Ing. Kurt Rosenbaum in Rhein- hausen-Bliersheim.) *Gelenkkupplung, be- sonders beim Antrieb der Walzen von Walz- werken.*

In dem Kupplungskopf a sind zwei die Kraft übertragende, außen walzenförmige Gelenkstücke b und c vorgesehen, von denen das eine b unmittelbar im Kupplungskopf a und in einer Ebene drehbar gelagert ist und das andere c in dem ersten Gelenkstück b um eine zu dessen Drehachse senkrecht stehende Achse drehbar gelagert ist und den Kupplungszapfen d undrehbar umfaßt. Die beiden Gelenkstücke b und c sind an ihren äußeren, walzenartigen Lagerflächen stufenförmig abgesetzt. Zapfen d wird im Gelenkstück b durch Bolzen e festgehalten.





### Statistisches.

Die Roheisenerzeugung des Deutschen Reiches im Januar 1939<sup>1)</sup>. — In Tonnen zu 1000 kg.

Bezirke	Hämatiteisen	Gießereiroh-eisen	Bessemer-Roh-eisen (saurer Verfahren)	Thomas-Roh-eisen (basisches Verfahren)	Stahleisen, Spiegel-eisen, Ferro-mangan und Ferro-silizium	Puddel-Roh-eisen (ohne Spiegel-eisen) und sonstiges Eisen	Insgesamt	
							Januar 1939	Dezember 1938
Januar 1939: 31 Arbeitstage. Dezember 1938: 31 Arbeitstage								
Rheinland-Westfalen . . . . .	44 617	52 327	—	775 475	244 777	—	1 112 376	1 094 178
Sieg., Lahn-, Dillgebiet und Oberhessen . . . . .	—	—	—	—	27 754	—	55 855	57 122
Schlesien . . . . .	23 292	34 367	—	94 226	109 926	28 380	159 426	153 889
Nord-, Ost- und Mitteldeutschland . . . . .								
Süddeutschland . . . . .	—	—	—	197 642	—	—	30 830	30 496
Saarland . . . . .	—	—	—	—	—	—	212 678	201 176
Ostmark . . . . .	—	—	—	—	—	—	61 718	58 891
Insgesamt: Januar 1939	67 909	86 694	—	1 067 343	382 457	28 380	1 632 783	—
Insgesamt: Dezember 1938	74 745	82 682	—	1 020 543	386 038	31 744	—	1 595 752
Durchschnittliche arbeitstägliche Gewinnung							52 670	51 476

Stand der Hochöfen im Deutschen Reiche<sup>1)</sup>. Im Januar 1939 waren 173 (Dezember 1938: 175) Hochöfen vorhanden. In Betrieb befanden sich 147 (145), gedämpft waren 2 (3), zum Anblasen standen fertig 7 (7), in Ausbesserung oder Neuzustellung befanden sich 11 (14) und still lagen 6 (6).

<sup>1)</sup> Nach den Ermittlungen der Wirtschaftsgruppe Eisen schaffende Industrie.

#### Frankreichs Roheisen- und Flußstahlerzeugung im Jahre 1938<sup>1)</sup>.

	Okt. 1938	Nov. 1938	Dez. 1938	Jan. bis Dez. 1938	1937
Hochöfen am 1. des Monats:					
im Feuer . . . . .	83	84	86		
außer Betrieb . . . . .	124	123	121		
insgesamt . . . . .	207	207	207		
1000 metr. t					
Roheisenerzeugung insgesamt	493	521	560	6049	7914
Darunter:					
Thomasroh-eisen . . . . .	394	416	444	4742	6318
Gießereiroh-eisen . . . . .	55	66	70	812	979
Bessemer- und Puddelroh-eisen . . . . .	21	15	20	228	308
Sonstiges . . . . .	23	24	26	267	309
Stahlerzeugung insgesamt	511	534	576	6174	7920
Darunter:					
Thomasstahl . . . . .	314	329	358	3733	5250
Siemens-Martin-Stahl . . . . .	162	172	184	2067	2291
Bessemerstahl . . . . .	4	4	4	48	48
Tiegelstahl . . . . .	2	2	2	20	15
Elektrostahl . . . . .	29	27	28	306	316
Robblöcke . . . . .	498	522	564	6025	7767
Stahlguß . . . . .	13	12	12	149	153

#### Die Leistung der französischen Walzwerke im Jahre 1938<sup>1)</sup>.

In 1000 metr. t	Okt. 1938	Nov. 1938 <sup>2)</sup>	Dez. 1938	Jan. bis Dez. 1938	1937
Halbzeug zum Verkauf . . . . .	95	87	122	1080	1445
Fertigerzeugnisse . . . . .	375	390	406	4243	5386
Davon:					
Radreifen . . . . .	3	3	3	46	44
Schmiedestücke . . . . .	5	6	6	62	56
Schienen . . . . .	25	21	22	309	367
Schwellen . . . . .	5	8	3	84	72
Laschen und Unterlagsplatten	2	2	1	29	51
Träger und U-Stahl von 80 mm und mehr, Zores- und Spundwandstahl . . . . .	34	28	30	345	465
Walzdraht . . . . .	34	28	35	291	404
Gezogener Draht . . . . .	15	16	16	180	185
Warmgewalzter Bandstahl und Röhrenstreifen . . . . .	16	18	22	171	283
Halbzeug zur Röhrenherstellung	4	6	9	84	88
Röhren . . . . .	14	13	16	172	211
Stabstahl . . . . .	127	133	148	1410	1928
Weißbleche . . . . .	11	12	10	131	123
Bleche von 5 mm und mehr . . . . .	23	23	25	271	315
Andere Bleche unter 5 mm . . . . .	54	60	58	626	756
Universalsstahl . . . . .	3	3	2	32	38

<sup>1)</sup> Nach den Ermittlungen des Comité des Forges de France.  
<sup>2)</sup> Teilweise berichtigte Zahlen.

#### Belgiens Bergwerks- und Eisenindustrie im Jahre 1938.

	November 1938	Dezember 1938	Jahr	
	1938	1938	1938	1937
Kohlenförderung . . . . . t	2 530 850	2 566 000	29 575 000	29 859 000
Kokserzeugung . . . . . t	380 440	406 000	4 703 000	5 522 000
Brikettherstellung . . . . . t	135 620			1 857 170
Hochöfen in Betrieb Ende des Monats . . . . .	36	37		47
Erzeugung an:				
Roh-eisen . . . . . t	222 330	232 000	2 466 800	3 842 807
Rohstahl . . . . . t	212 940	214 000	2 212 540	3 777 045
Stahlguß . . . . . t	5 730	5 000	72 000	91 862
Fertigerzeugnissen . . . . . t	187 790	179 000	1 764 000	2 935 000

#### Großbritanniens Hochöfen am 31. Dezember 1938.

Nach Angaben der britischen Roheisen erzeugenden Werke<sup>1)</sup> waren Ende Dezember 1938 in Großbritannien 190 Hochöfen vorhanden, von denen 78 oder 41 % unter Feuer standen. Neu zugestellt wurden am Ende des Jahres 29 Hochöfen, während sich sechs neue Oefen im Bau befanden, davon je einer in Schottland und Süd-Wales und je zwei in Cleveland und Lincolnshire.

Zahlentafel 4.

#### Großbritanniens Hochöfen am 31. Dezember 1938.

Hochöfen im Bezirk	Vorhanden am 31. Dez. 1938	In Betrieb			
		am 31. Dez. 1938	davon gingen auf		
			Hämatit, Roh-eisen für saure Verfahren	Puddel- und Gießereiroh-eisen	Rob-eisen für basische Verfahren
Schottland . . . . .	28	8	5	2	1
Durham und Northumber-land . . . . .	13	5	3	—	2
Cleveland . . . . .	36	16	5	—	2) 11
Northamptonshire . . . . .	14	8	—	5	3
Lincolnshire . . . . .	17	12	—	1	11
Derbyshire . . . . .	15	9	—	9	—
Nottingham und Leices-ter-shire . . . . .	5	3	—	3	—
Sud-Staffordshire und Wor-cestershire . . . . .	13	2	—	—	2
Nord-Staffordshire . . . . .	6	2	—	—	2
West-Cumberland . . . . .	9	3	3	—	—
Lancashire . . . . .	14	4	1	—	2) 3
Süd-Wales und Monmouth-shire . . . . .	8	5	1	—	4
Süd- und West-Yorkshire . . . . .	4	1	—	—	1
Shropshire . . . . .	3	—	—	—	—
Nord-Wales . . . . .	3	—	—	—	—
Gloucester, Sommerset, Wilts, Essex . . . . .	2	—	—	—	—
Zusammen Ende Dezember 1938 . . . . .	190	78	18	20	40
Dagegen Dezember 1937 . . . . .	203	133	30	40	63

<sup>1)</sup> Nach Iron Coal Tr. Rev. 138 (1939) S. 168. Die dort abgedruckte Zusammenstellung führt sämtliche britischen Hochöfenwerke namentlich auf.  
<sup>2)</sup> Davon einer auf Ferromangan usw.

#### Großbritanniens Eisenerzförderung im dritten Vierteljahr 1938<sup>1)</sup>.

Bezeichnung der Erze	Förderung in t zu 1000 kg	Durchschnittlicher Eisen-gehalt in %	Wert je t zu 1016 kg		Zahl der Beschäftigten
			sh	d	
Westküsten-Hämatit . . . . .	190 797	51	22	11	1895
Jurassischer Eisenstein . . . . .	2 178 085	28	4	0	6189
„Blackband“ und Ton-eisenstein . . . . .	25 957	32	—	—	310
Andere Eisenerze . . . . .	36 075	—	—	—	430
Insgesamt	2 430 914	30	5	11	8824

<sup>1)</sup> Iron Coal Tr. Rev. 138 (1939) S. 160.